

L' Étude pan-canadienne

Sur les impacts et l'adaptation à la
variabilité et au changement climatique

QUESTIONS INTERSECTORIELLES



Rédacteurs: Nicola Mayer, Wendy Avis



Environnement
Canada

Canada 

Ce rapport est une partie composante de l'Étude pan-canadienne sur l'adaptation à la variabilité et au changement climatiques. En plus de quelques documents sommaires, la première phase de l'Étude pan-canadienne ont produit six tomes régionaux, un tome comprenant douze rapports nationaux au sujet des secteurs sociaux et économique, et un tome comprenant huit papiers concernant les questions intersectorielles. Ce rapport est l'Étude pan-canadienne – Tome VIII : Questions intersectorielles.

This is a component report of the Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation. In addition to a number of summary documents, the first phase of the Canada Country Study produced six regional volumes, one volume comprising twelve national sectoral reports, and one volume comprising eight cross-cutting issues papers. This is The Canada Country Study – Volume VIII : National Cross-Cutting Issues Volume.

Pour plusieurs renseignements concernant l'Étude pan-canadienne (ÉPC), contactez le Groupe de recherche en adaptation environnementale à Toronto à (416) 739-4436 (téléphone), (416) 739-4297 (télécopieur), ou indra.fungfook@ec.gc.ca (courriel).

For further information on the Canada Country Study (CCS), please contact the Environmental Adaptation Research Group in Toronto, Ontario at 416-739-4436 (telephone), 416-739-4297 (fax), or indra.fungfook@ec.gc.ca (e-mail).

URL : <http://www.ec.gc.ca/climate/ccs>

URL : <http://www.ec.gc.ca/climate/ccs>

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tous les auteurs du tome Étude pan-canadienne sur les questions intersectorielles ainsi que tous ceux et celles qui ont contribué aux chapitres ou qui ont fourni des commentaires éditoriaux. Nous tenons à souligner particulièrement la contribution spéciale des membres du Groupe de recherche en adaptation environnementale. Les rédacteurs Nicola Mayer et Wendy Avis méritent des remerciements très spéciaux pour leur professionnalisme, leur travail ardu, leur détermination et l'édition avisée de ce document. Il nous faut aussi souligner les conseils et l'appui fournis par Barrie Maxwell et Roger Street.

L'équipe de traduction de Marie-France Guéraud, Travaux publics et services gouvernementaux à Montréal, Gilles Tardif d'ENVIROEDIT pour la révision du texte français ainsi que le personnel de l'imprimerie de la University of Toronto Press méritent aussi nos remerciements.

Octobre 1998

Ce rapport a été publié par le Groupe de recherche en adaptation environnementale d'Environnement Canada.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	ii
Liste des tableaux	iv
Liste des figures	v
Message de la ministre	vi
Résumé	vii
1. Évaluation des coûts liés au changement climatique : Dimensions économiques des mesures d'adaptation et des impacts résiduels au Canada.....	1
<i>par : Dale S. Rothman, David Demeritt, Quentin Chiotti et Ian Burton</i>	
2. Changement climatique et phénomènes extrêmes au Canada.....	35
<i>par : David Etkin</i>	
3. Nécessité d'effectuer des évaluations intégrées des problèmes atmosphériques.....	83
<i>par : Abdel Maarouf, Jamie Smith et Heather Alexander</i>	
4. Les influences extraterritoriales du changement climatique : Ses effets à l'extérieur du Canada et son impact sur les intérêts canadiens.....	99
<i>par : Beth Chalecki</i>	
5. Changement climatique et mouvements des échanges et du commerce intérieurs au Canada	119
<i>par : Nairne Cameron, Philippe Crabbé, Karim Eslamloueyan, Daniel Lagarec et Nguyen Van Quyen</i>	
6. Altération des paysages : Synthèse de certains aspects de l'Étude pan-canadienne.....	159
<i>par : Hague H. Vaughan</i>	
7. Changement climatique et développement durable : Fusionnement nécessaire des recherches parallèles	179
<i>par : Stewart Cohen, David Demeritt, John Robinson et Dale Rothman</i>	
8. Le changement climatique et l'économie de subsistance des populations nordiques.....	219
<i>par : Helen Fast et Fikret Berkes</i>	

LISTE DES TABLEAUX

1.1	Estimations des coûts d'adaptation au climat actuel du Canada et tendances possibles en présence d'un changement climatique.....	21
1.2	Estimations des coûts d'un doublement de la concentration de CO ₂ pour la société canadienne de 1988.....	24
2.1	Tendances des risques en fonction du réchauffement climatique.....	48
2.2a	Catastrophes météorologiques aux États-Unis ayant coûté plus d'un milliard de dollars US (1980-1997).....	49
2.2b	Catastrophes naturelles les plus coûteuses du Canada.....	50
2.3	Catastrophes météorologiques survenues au Canada et ayant causé plus de 20 décès.....	54
2.4	Liste supplémentaire : Catastrophes météorologiques de plus de quelques jours, ou étant survenues hors du territoire canadien, ou ayant causé moins de 20 décès.....	55
2.5	Coûts d'adaptation.....	63
2.6	Domages prévus à cause des inondations fluviales.....	75
3.1	Résumé qualitatif des liens entre les problèmes atmosphériques.....	91
4.1	Changements prévus dans la production céréalière mondiale dus au réchauffement du climat.....	103
4.2	Exportations nationales de 1995 vers les principaux pays commerçants.....	104
5.1	Sites Internet utilisés.....	126
6.1	Variables cruciales nécessaires à une amélioration de la prédiction des impacts du changement climatique sur les écosystèmes régionaux.....	166
8.1	Valeur attribuée à l'alimentation fournie par la chasse et la pêche de subsistance.....	223
8.2	Secteur de l'économie fondé sur les ressources naturelles.....	224
8.3	Quelques termes spécialisés pour désigner la neige.....	230

LISTE DES FIGURES

1.1	Catégories de valeurs économiques attribuées aux ressources environnementales	11
1.2	Répartition des dommages, événements catastrophiques et estimations les plus probables.....	17
2.1	Moyenne mobile sur cinq ans de la fréquence nationale (É.-U.) des désastres météorologiques et moyenne annuelle de la température et des précipitations	43
2.2	Rapport entre les dommages et les probabilités d'inondations	46
2.3	Fréquence vs impacts des phénomènes extrêmes	49
2.4	Nombre d'événements à risque identifiés (sans les tornades) de 1961 à 1996.....	54
2.5	Cycle d'adaptation aux catastrophes	57
2.6	Catastrophes à travers le monde de 1967 à 1991	57
2.7	Accidents d'aéronef associés au temps	58
2.8	Accidents de chemin de fer associés au temps.....	58
2.9	Accidents maritimes associés au temps	59
2.10	Accidents de la route associés au temps en Ontario.....	60
2.11	Temps perdu au travail en raison du mauvais temps	61
2.12	Heures de travail perdues au travail en raison du mauvais temps.....	61
2.13	Décès dus aux risques naturels.....	62
2.14	Pertes économiques et assurées associées aux catastrophes naturelles majeures entre 1960 et 1996 et tendance jusqu'à l'an 2000.....	63
2.15	Incendies de forêt au Canada : étendue brûlée.....	64
2.16	Coûts de gestion des incendies de 1985 à 1995	65
2.17	Coûts de gestion des incendies.....	65
2.18	Coûts associés au temps assumés par Ontario Hydro	66
2.19	Coûts associés au temps assumés par les compagnies d'électricité.....	67
2.20	Paiements par PCC entre 1970 et 1998.....	68
2.21	Paiements aux provinces par la PCC de 1970 à 1998.....	68
2.22	Paiements de la PCC versés par type de risque de 1970 à 1998	69
2.23	Paiements provinciaux d'assurance-récolte	70
2.24	Pertes de récolte par risque au Manitoba entre 1966 et 1994.....	70
2.25a	Paiements de l'assurance-récolte du Manitoba	71
2.25b	Paiements de l'assurance-récolte de l'Ontario	71
2.25c	Paiements de l'assurance-récolte du Québec	72
2.25d	Paiements de l'assurance-récolte de la Saskatchewan	72
2.26	Coûts assurés associés au mauvais temps provenant de paiements majeurs multiples.....	73
2.27	Coûts assurés associés au mauvais temps, entre 1984 et 1996, provenant de paiements majeurs multiples	74
5.1	Exemple de recherche	125
7.1	L'école de pensée du changement climatique, des années 1970 jusqu'à maintenant.....	185
7.2	Aperçu de la ligne de pensée du développement durable, des années 1970 jusqu'à maintenant	191
7.3	Programmes internationaux sur le changement climatique et sur le développement durable, de 1980 jusqu'à maintenant	196

Message de la ministre de l'Environnement



Le changement climatique est l'un des plus grands défis du Canada en cette fin de millénaire. Si nous saurons le relever avec succès, nous aurons assuré la santé future de notre planète. Sinon, ce sont les générations futures qui souffriront.

Nous savons que notre connaissance du changement climatique repose sur une base scientifique solide. Les scientifiques du monde entier s'entendent pour dire que notre climat se réchauffe de plus en plus vite parce que des quantités accrues de gaz à effet de serre sont injectées dans l'atmosphère.

L'Étude pan-canadienne ajoute à notre connaissance de l'impact que pourrait avoir le changement climatique sur les collectivités de tout le pays. Non seulement elle prévient la population canadienne des scénarios prévus par les scientifiques, mais elle lui propose aussi des manières de s'adapter à l'évolution du climat. L'Étude fournit également une perspective critique pour planifier notre avenir.

L'Étude pan-canadienne nous aide à comprendre comment tirer profit des occasions économiques qui s'offriront et à améliorer notre bien-être social face à ce grand défi. Dans certains cas, les solutions sont déjà trouvées. Dans d'autres, il faudra effectuer de nouvelles études et consultations pour forger les meilleures stratégies. Il reste beaucoup à faire.

Un effort concerté s'impose pour surmonter le problème du changement climatique. Il est impératif que les Canadiens soient bien informés pour se préparer à réagir aux impacts potentiels de ce phénomène. Une fois qu'ils auront bien saisi ses implications, je suis convaincue qu'ils prendront les mesures qui s'imposent pour protéger leur environnement, leur santé et leur économie au profit de leurs enfants et petits-enfants.

Je tiens à remercier tous ceux qui ont collaboré à l'Étude pan-canadienne. Grâce à leurs efforts, les Canadiens sauront mieux comment contribuer à la sauvegarde de notre prospérité collective.

Christine S. Stewart

Résumé**INTRODUCTION**

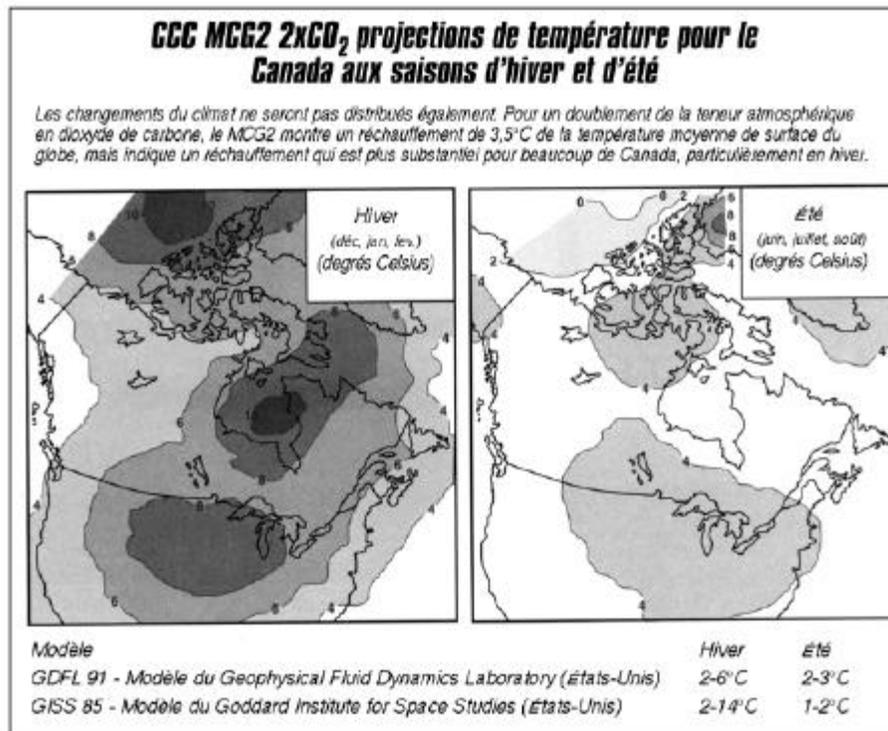
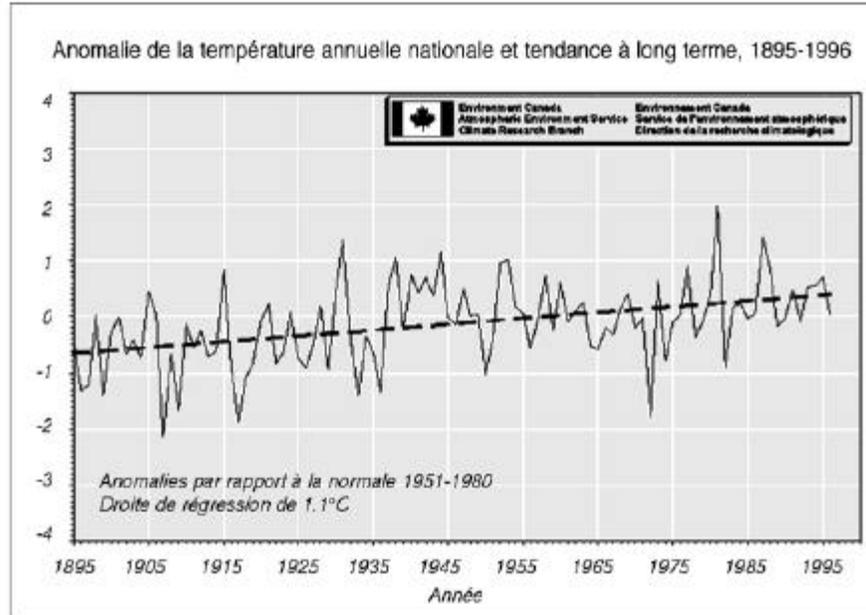
Les résultats scientifiques et techniques de l'étape d'évaluation de l'Étude pan-canadienne (ÉPC) sont regroupés dans huit volumes, dont six rapports régionaux (Arctique, Atlantique, Ontario, Pacifique et Yukon, Prairies et Québec), un rapport sectoriel national, qui contient douze documents, et un rapport sur les questions intersectorielles, qui en comprend huit. Le présent document, le résumé du volume sur les questions intersectorielles, est le condensé des huit documents relatifs à ces questions (coûts d'adaptation et impacts résiduels du changement climatique, phénomènes extrêmes, problèmes atmosphériques intégrés, questions extra-territoriales, échanges et commerce intérieurs, modification des paysages, développement durable, et économies de subsistance dans le Nord).

Le changement climatique

Selon le Deuxième rapport d'évaluation du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), les faits observés concordent pour indiquer une influence perceptible de l'homme sur le climat à l'échelle planétaire. L'activité humaine entraîne une augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et ces variations produiront, aux échelles régionale et planétaire, une évolution de paramètres climatiques ou liés au climat tels que la température, les précipitations, l'humidité du sol et le niveau de la mer.

Afin de mieux comprendre les réactions du climat dans le monde, on utilise des modèles de circulation générale, ou MCG, qui sont des modèles informatiques perfectionnés, pour simuler les conditions climatiques qui régneraient avec un doublement des concentrations de gaz à effet de serre par rapport aux niveaux de l'époque préindustrielle. Comme l'on s'est au départ attaché à faire une évaluation à jour basée sur la littérature scientifique et technique existante, les résultats de l'Étude pan-canadienne ne reposent pas sur un scénario climatique unique, mais rassemblent plutôt l'éventail des scénarios qui ont servi de base à divers documents et rapports cités dans la littérature. En général, les principaux scénarios de modèles utilisés provenaient de l'un de cinq MCG, qui ont été conçus au Canada, aux États-Unis ou au Royaume-Uni : CCC92 - modèle de deuxième génération du Centre canadien de modélisation et d'analyse climatiques; GFDL91 - modèle du Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (É.-U.); GISS85 - modèle du Goddard Institute for Space Studies (É.-U.); NCAR93 - modèle du National Center for Atmospheric Research (É.-U.) et le UKMO95 - modèle du Service météorologique du Royaume-Uni.

En interprétant les résultats basés sur ces scénarios, le lecteur doit garder à l'esprit que l'on doit accorder plus de confiance aux projections du changement climatique à l'échelle de l'hémisphère ou du continent qu'aux prévisions à l'échelle régionale. Il faut aussi noter que la majorité des changements climatiques, et donc des impacts, présentés devraient se produire au cours du prochain siècle, et que la vitesse moyenne du réchauffement sera probablement supérieure à tout ce qui est survenu depuis 10 000 ans. Qui plus est, comme il est si difficile de prévoir de futurs changements climatiques inattendus, rapides et de grande ampleur (comme ceux du passé), l'on peut s'attendre à des « surprises ».



QUESTIONS INTERSECTORIELLES LIÉES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Introduction

Les études regroupées dans l'ÉPC indiquent que les changements climatiques prévus pourront avoir d'importantes répercussions au Canada. Notre climat étant variable, les Canadiens et l'économie nationale y réagissent de façon différente dans le temps et dans l'espace. Outre les impacts régionaux et sectoriels, l'évolution du climat suscite de nombreuses inquiétudes de nature diverse et dans des domaines variés. Nous les avons appelées questions sectorielles et les principaux résultats des études portant sur ces questions sont présentés dans ce résumé :

Établissement des coûts des mesures d'adaptation et des impacts résiduels du changement climatique

Un des aspects importants de l'Étude pan-canadienne était de déterminer les coûts des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation à l'évolution du climat. Il existe très peu d'études qui établissent de façon précise les coûts d'adaptation au changement climatique projeté et des impacts résiduels de ce changement au Canada. Il se pose des questions de méthodologie quant aux tentatives d'évaluation des différents impacts et de leurs coûts financiers. Le GIEC cite certaines valeurs de pourcentage du PIB (c.-à-d. 1 à 2 % du PIB pour les pays industrialisés, en supposant un doublement du dioxyde de carbone atmosphérique d'ici 2050 et un réchauffement planétaire moyen de 2,5 °C), qui reflètent essentiellement les estimations pour les États-Unis et les extrapolations de celles-ci. Il y a aussi des problèmes de méthodologie quant à la répartition des coûts entre individus, secteurs et régions, ainsi que dans le temps, et quant à la mise de côté des coûts de l'adaptation à un climat en évolution et des valeurs sociales de la plupart des produits et services non marchands. Enfin, il existe de nombreuses incertitudes quant à l'ampleur du changement climatique et au moment où il surviendra, incertitudes qui influent sur les résultats.

Phénomènes météorologiques extrêmes

Des changements minimes des conditions ou de la variabilité climatiques moyennes peuvent entraîner d'assez importants dans la fréquence des phénomènes extrêmes, un petit changement de la variabilité ayant plus d'effet qu'un changement similaire de la moyenne. Il demeure à l'heure actuelle extrêmement difficile de prévoir les effets du changement climatique sur les inondations et autres phénomènes extrêmes, mais les conséquences que pourraient avoir ces phénomènes justifient la poursuite des études sur les impacts possibles.

Tempêtes : Il n'est actuellement pas clair si le changement climatique entraînera une augmentation ou une diminution de l'intensité des tempêtes extratropicales. On s'attend, intuitivement, à ce que l'activité convective soit plus fréquente et plus intense dans un climat plus chaud. En outre, les modèles climatiques suggèrent une hausse de la probabilité de précipitations intenses liée à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre. Pour des raisons d'échelle de résolution, les MCG peuvent difficilement déterminer les variations du nombre ou de la répartition géographique des phénomènes convectifs (orages violents produisant de la grêle, des éclairs, des tornades, des pluies torrentielles et des vents violents).

Températures extrêmes : Dans un climat plus chaud, les vagues de chaleur deviendront plus fréquentes et les vagues de froid plus rares. Les heures d'ensoleillement, les températures extrêmes et des épisodes fréquents de vent accompagné de pluie pourraient provoquer des défaillances structurales prématurées dues à une détérioration plus rapide au fil des mois et des années.

Inondations et sécheresses : Les nouveaux résultats confortent l'hypothèse que la variabilité associée à un renforcement du cycle hydrologique se traduit par la possibilité d'inondations ou de sécheresses plus graves en certains endroits et moindres à d'autres. Dans les régions où la longueur et la gravité des sécheresses devraient augmenter, on se préoccupe encore plus des impacts possibles sur la disponibilité de l'eau et la croissance des végétaux. De même, dans les régions où l'on prévoit une augmentation de l'intensité des précipitations et d'autres facteurs influant sur le risque d'inondations, l'élévation prévue du niveau de la mer, l'augmentation des précipitations extrêmes, les embâcles au printemps sur les cours d'eau constituent également de sérieux problèmes en raison du risque d'inondations des maisons situées dans les terres basses, des quais et des installations portuaires, et de surcharge des réseaux d'adduction d'eau et d'égouts.

Questions atmosphériques intégrées

Les écosystèmes, l'agriculture, la santé humaine ainsi que d'autres secteurs et régions ne seront pas exposés aux seuls impacts du changement climatique; ils subiront également les effets d'autres conditions atmosphériques, comme l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique, les dépôts acides, le smog (surtout l'ozone au niveau du sol), les particules en suspension et les polluants atmosphériques dangereux. Cependant, les experts en sciences atmosphériques et les décideurs canadiens ont examiné ces questions une par une et ils ont, ensuite, élaboré des politiques ciblées comme le Protocole de Montréal qui vise à interdire l'utilisation des substances qui appauvrissent l'ozone stratosphérique.

Il est maintenant établi que le changement climatique peut exacerber les autres problèmes atmosphériques. On prévoit que les quantités excessives de gaz à effet de serre et la hausse prévue des températures modifieront la chimie de l'atmosphère, notamment par les interactions entre les principaux gaz à effet de serre : dioxyde de carbone (CO₂), méthane (CH₄), hémioxyde d'azote (N₂O), chlorofluorocarbures (CFC) et ozone (O₃), les oxydants les plus importants - radical hydroxyle (OH) et peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) - et d'autres particules ou gaz traces qui interviennent dans une ou plusieurs des autres questions atmosphériques.

Exemples des effets du changement climatique sur les autres problèmes atmosphériques :

Ozone stratosphérique : Le dioxyde de carbone a un effet sur la structure thermique de l'atmosphère, entre autres un refroidissement projeté de la haute atmosphère (c.-à-d. de la stratosphère). Normalement, lorsque la température de la stratosphère est plus basse, moins d'ozone est détruit, donc l'effet d'une augmentation du CO₂ atmosphérique est de diminuer l'appauvrissement de l'ozone. Cependant, une augmentation des concentrations de CO₂ dans l'atmosphère entraînera un refroidissement accru de la basse stratosphère, ce qui pourrait

accroître la formation de nuages stratosphériques polaires (PSC) au-dessus de certaines régions, ramener les espèces potentiellement destructrices de l'ozone à leur forme active et donc risquer d'exacerber l'appauvrissement de l'ozone.

Dépôts acides : Le réchauffement climatique pourrait accélérer les transformations physiques et chimiques des acidifiants primaires et secondaires. La circulation générale de l'atmosphère et les régimes des précipitations devraient changer, et les réactions et l'instabilité d'ensemble dans la troposphère subir des changements qui auront une incidence sur les pluies acides. Ces changements devraient modifier les trajectoires de transport des gaz acidifiants, les lieux de dépôts ultérieurs et les concentrations régionales. En été, les émissions de composés du soufre et de l'azote pourraient augmenter en raison de l'accroissement de la demande en énergie pour la climatisation des édifices et des automobiles. L'émission d'un autre gaz, le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), qui est un puissant oxydant et un catalyseur de la production d'acide sulfurique, entraîne l'augmentation des dépôts acides.

Smog : Les émissions naturelles et anthropiques de plusieurs polluants (ex. NO_x , COV) et de matière particulaire sont sensibles aux conditions météorologiques. Les COV, par exemple, qui proviennent des réservoirs d'essence, des solvants et des usines chimiques sont plus volatils à haute température. En outre, les composés d'azote qui sont émis par les microbes de sol et les COV relâchés par les végétaux agissent différemment selon la température. Le changement climatique aura également une incidence sur la fréquence des épisodes de smog en raison du nombre plus élevé de journées chaudes en été.

D'autres questions atmosphériques ont elles-mêmes des effets sur le changement climatique :

Ozone stratosphérique : Une diminution de l'ozone dans la stratosphère entraîne une réduction du flux d'ozone vers la haute troposphère, où il agit comme un gaz à effet de serre. Une couche d'ozone plus mince laisse passer plus de rayonnement UV-B jusqu'à la basse atmosphère, où il augmente la production du radical OH (un puits primaire pour le méthane, qui est un gaz à effet de serre environ 20 fois plus puissant que le CO_2). Par conséquent, la destruction de l'ozone stratosphérique pourrait mener à un ralentissement du réchauffement climatique.

Dépôts acides : Les précurseurs des précipitations acides (SO_2 et NO_x) s'oxydent dans l'atmosphère et forment des aérosols nitrates et sulfates. Une certaine quantité du rayonnement solaire est réfléchi par ces particules dans l'espace, ce qui cause un forçage radiatif négatif (refroidissement du climat).

Matières particulaires en suspension : Certains aérosols, comme les suies, absorbent la lumière de façon très efficace et causent un léger réchauffement; le forçage radiatif moyen planétaire net (direct et indirect) des aérosols anthropiques est négatif et son ampleur est significative. Selon certaines études, en moyenne mondiale, les particules de nitrate anthropique occultent environ 25 % du réchauffement causé par les CO_2 et autres GES.

Incidence au-delà de nos frontières

La plupart des études mentionnées précédemment et dans les autres rapports traitent des impacts possibles du changement climatique au Canada. Or, le Canada est membre d'un groupe de nations, les Canadiens ont des intérêts à l'étranger et ils entretiennent des relations avec les habitants d'autres pays dans le monde entier. Donc, les impacts du changement climatique au-delà des frontières du Canada doivent être examinés. On abordera les questions des échanges internationaux, de la sécurité (à la fois alimentaire et militaire) et des migrations internationales.

Commerce international : L'incidence du changement climatique sur les prix et sur l'offre et la demande sur les marchés internationaux pourrait avoir autant de répercussions au Canada que les impacts de premier et de deuxième ordre sur le pays proprement dit. Bien que le changement climatique influe sur tous les secteurs de l'économie, la majeure partie des recherches sur le climat et le commerce international ont mis l'accent sur le commerce agricole. Un certain nombre de modèles prévoient que la position du Canada sur le marché mondial en tant que grand exportateur de produits agricoles s'améliorera, car le changement climatique devrait avoir un impact positif sur les rendements au Canada et que les producteurs canadiens seront plus compétitifs que ceux des Plaines américaines. Cependant, tous les résultats prévus par ces modèles sont sensibles aux hypothèses concernant les niveaux d'adaptation, dont les coûts ne sont généralement pas pris en compte dans ces projections, et aux hypothèses concernant l'effet de fertilisation par le CO₂.

On connaît assez mal les effets possibles du changement climatique sur d'autres secteurs du commerce mondial, comme la foresterie, les pêches et l'énergie. Toutefois, étant donné que le Canada dépend énormément de ses exportations dans ces secteurs, sa balance commerciale est vulnérable au changement climatique projeté.

Relations internationales : Les relations du Canada avec l'étranger devraient être influencées, à plusieurs niveaux, par l'évolution future du climat. Si, comme la plupart des gens le pensent, ce sont les pays en développement qui sont le plus durement touchés par les effets du changement climatique anthropique, on peut s'attendre à des tensions plus grandes entre ces pays et les pays développés.

Le changement climatique pourrait aussi susciter de nouvelles sources de tensions dans la communauté internationale. Le réchauffement, entre autres, pourrait aggraver le problème de la pollution de l'air à l'échelle mondiale. La gestion des eaux transfrontières sera aussi touchée. Par exemple, si les États du centre des États-Unis connaissaient une période de sécheresse prolongée, scénario prévu par de nombreux MCG, le gouvernement américain exercerait des pressions pour que le Canada accepte une dérivation des cours d'eau vers le sud. La fonte de la glace de mer dans le passage du Nord-Ouest pourrait rendre cette voie maritime navigable. Bien que le Canada affirme depuis longtemps que le passage du Nord-Ouest fait partie des eaux intérieures, les membres de la communauté internationale n'ont jamais tous accepté cette idée.

Les conditions climatiques ont également une incidence sur la gestion des ressources collectives internationales, qui pourrait, par conséquent, subir des modifications en raison du changement climatique. La productivité du saumon du Pacifique, par exemple, est extrêmement liée au climat

et aux courants marins dans le Pacifique Nord. Par le passé, les fluctuations de ces conditions ont entraîné tant des diminutions que des augmentations considérables des prises. Lorsque la ressource a subi des pressions, il y a eu des conflits entre les intervenants du secteur des pêches, ce qui a compliqué les efforts internationaux déployés pour gérer cette ressource de façon durable.

Sécurité alimentaire et militaire : De par sa situation géopolitique, le Canada est à l'abri de la plupart des conflits armés, et il est peu affecté par les variations de la production alimentaire imputables au climat, grâce à l'abondance de ses ressources agricoles et aux relations pacifiques qu'il entretient avec ses voisins du sud. Bien qu'il persiste de lourdes incertitudes sur la nature des modifications subies par les phénomènes extrêmes du fait du changement climatique, les changements projetés de la fréquence et de la gravité de ces phénomènes pourraient faire croître la demande d'aide des forces de sécurité aux autorités civiles lors des catastrophes naturelles.

De plus, des conflits chroniques entre nations et ethnies, comme en Bosnie et au Rwanda, ont eu diverses répercussions sur le Canada et les Canadiens : le monde est devenu plus dangereux; les actes de terrorisme international ont débordé les frontières; les conflits ont pris des proportions plus grandes; le Canada a augmenté sa participation aux missions de maintien de la paix et aux missions diplomatiques, et l'on a vu un accroissement des problèmes nationaux et internationaux de réfugiés.

Migrations environnementales : L'incidence du changement climatique sur l'arrivée de migrants environnementaux au Canada demeure inconnue. On évalue jusqu'à 150 millions le nombre de personnes qui seront déplacées en raison du changement climatique projeté, mais seules les plus mobiles d'entre elles devraient gagner le Canada. Cette augmentation du nombre de réfugiés étrangers pourrait créer un fardeau sans précédent pour les mécanismes d'intégration des réfugiés au Canada, bien qu'il soit impossible d'en établir le coût à ce stade-ci.

Échanges et commerce intérieurs

Très peu de recherches ont porté sur les impacts que l'évolution du climat pourrait avoir sur le commerce intérieur canadien et, en général, les statistiques sur les échanges interprovinciaux sont peu fiables. Par conséquent, les impacts potentiels sur ce secteur sont très hypothétiques.

Les échanges et le commerce intérieurs devraient s'intensifier, le nord du Canada devenant peut-être une nouvelle région pionnière. Les grands centres urbains du sud, où se trouvent les marchés et les centres de services, ne se déplaceront vraisemblablement pas, puisque l'emplacement des entreprises manufacturières est moins tributaire de celui des ressources naturelles que des coûts de la main-d'oeuvre et de l'accès aux services. Les impacts projetés sur les ressources naturelles pourraient entraîner des déplacements des centres d'activité (p. ex. les nouvelles possibilités agricoles, et les centres de récolte et de transformation dans les industries de la pêche et la foresterie). Ces changements pourraient entraîner à leur tour des mouvements de la population et du commerce entre régions et à l'intérieur de celles-ci, à mesure que s'offrent des occasions et que changent les potentiels de production. On s'inquiète alors de la durabilité des collectivités et

industries vulnérables face aux éventuelles variations de la disponibilité de l'eau dues au changement climatique projeté.

Modifications des paysages

L'évolution du climat transformera les paysages du Canada. Les modifications auront diverses causes : cycle hydrologique différent et plus variable, fonte du pergélisol, élévation du niveau de la mer, et décalage et transformation des zones écologiques. Ces changements à grande échelle des paysages auront de sérieuses répercussions sur l'hydrologie, les espèces sauvages, la diversité biologique, les infrastructures et le transport, les activités économiques, les valeurs culturelles et les modes de vie, de même que sur le bien-être général des Canadiens.

Développement durable et changement climatique

À prime abord, il peut sembler étrange d'affirmer que le changement climatique et le développement durable sont deux façons très différentes d'aborder les problèmes environnementaux planétaires. Cela a beaucoup compliqué la situation lorsqu'il a fallu nouer de forts liens de travail entre le milieu de la recherche et celui des politiques, à l'échelle tant nationale qu'internationale. Les spécialistes de la recherche sur le changement climatique et ceux du développement durable ont des vues bien différentes sur le développement futur. D'où l'émergence de problèmes à plusieurs niveaux : différences dans les scénarios d'émissions, régimes économiques, etc., traitement inégal des volets atténuation (réduction) et adaptation (vulnérabilité) du changement climatique; problèmes d'éthique soulevés par les pays en développement et questions sur la pertinence des recherches scientifiques pour l'élaboration des politiques sur le changement climatique et le développement durable. Tant que ces différentes visions demeureront séparées, il pourra persister de graves incertitudes dans les évaluations des coûts et des profits liés au changement climatique.

Économie de subsistance dans le Nord

Les peuples autochtones du Nord, qui sont déjà un des segments de la population canadienne les plus vulnérables, seront affectés par les décalages des écosystèmes dus au changement climatique. On connaît très peu les impacts possibles du changement climatique sur l'économie du Nord, qui se divise en trois secteurs : les emplois rémunérés, les paiements de transfert et la récolte de subsistance. Toutefois, les changements prévus qu'entraînera l'évolution du climat, tels qu'on les connaît, pourraient sérieusement mettre à l'épreuve la capacité d'adaptation de nombreuses sociétés de subsistance. Les impacts en seront généralisés avec des variations d'une région à l'autre. Lorsque les effets commenceront à se manifester, toute tentative pour modifier ou prévenir le cours des événements ou des impacts dans les régions nordiques sera vaine.

Le changement climatique pourrait avoir une incidence sur la répartition des animaux et sur d'autres ressources dont dépendent les économies de subsistance. Le réchauffement projeté devrait faire disparaître la glace de plusieurs années et de larges étendues de pergélisol discontinu, les précipitations augmenter de 20 à 30 % et la période annuelle sans gel rallonger. Les mammifères terrestres, aquatiques et marins de l'Arctique et des régions subarctiques vivent dans

un environnement physique tout juste approprié à leurs besoins; tout changement de conditions, si faible soit-il, pourrait donc avoir des conséquences désastreuses sur leur santé et leur survie. Au cours des 40 dernières années, les peuples autochtones du Nord ont opté pour une vie plus sédentaire, ce qui a réduit, sans l'éliminer, la possibilité pour eux de suivre les populations d'animaux en migration. De plus, la disparition de populations d'oiseaux aquatiques et de poissons pourrait avoir d'importantes répercussions sur l'économie de subsistance, car ces ressources ne seront probablement pas remplacées par d'autres sources alimentaires naturelles.

L'effet combiné de la fonte des glaciers et nappes de glace et de l'expansion thermique des océans entraînera une élévation moyenne du niveau de la mer de 50 cm ou plus d'ici la fin du XXI^e siècle. Cette élévation devrait avoir des répercussions sur les populations qui se sont établies sur les côtes de l'Arctique. Il faudra peut-être prendre des mesures coûteuses afin de les protéger contre les risques d'inondation, si toutefois c'est possible.

Les connaissances traditionnelles et les diverses formes d'adaptation locales pourraient ne plus être valides face au changement climatique. Les activités des chasseurs, pêcheurs et trappeurs, par exemple, reposent sur une bonne connaissance locale de la répartition et du comportement des animaux, des régimes nivométriques et des dates d'englacement et de déglacement. Toutes ces connaissances locales pourraient perdre leur utilité dans les nouvelles conditions climatiques.

L'évolution du climat aura une incidence sur les récoltes d'espèces sauvages et entraînera, par conséquent, des problèmes d'alimentation, une augmentation des frais médicaux due à l'accroissement du nombre d'affectations cardio-vasculaires, et de cas de diabète et de déficiences en vitamines. Par ailleurs, la consommation de viande fraîche a diminué et les éléments nutritifs qu'elle fournissait ne se retrouvent pas dans les nouveaux choix alimentaires. On croit que cette situation est à l'origine des très nombreux cas d'obésité, de troubles cardio-vasculaires et de diabète sucré observés chez les populations nordiques. La récolte de subsistance exige de ceux qui la pratiquent une très grande forme physique, et lorsque les membres des communautés vivant de chasse et de cueillette sont atteints des maladies de ce siècle, ils ne peuvent plus chasser et deviennent donc incapables de subvenir aux besoins de leur famille.

Un réchauffement du climat entraînerait la fonte du pergélisol et des résidus qui seraient susceptibles de contaminer les ressources hydriques. L'augmentation du rayonnement ultraviolet-B imputable à l'amincissement de la couche d'ozone dans la stratosphère de l'Arctique menace réellement la santé humaine et animale et la productivité des espèces végétales terrestres et marines.

LACUNES DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES ET RECOMMANDATIONS POUR LES TRAVAUX FUTURS

Il nous faut combler les lacunes des connaissances scientifiques à l'échelle nationale. Nous devons pouvoir prévoir avec plus de confiance les impacts du changement climatique sur les paysages, sur les processus physiques et biologiques et sur les secteurs socio-économiques afin d'élaborer des stratégies d'adaptation pour composer dans la mesure du possible avec ces impacts. Dans une

perspective sociétale, nous devons transformer ces changements physiques et biologiques en valeurs socio-économiques (coûts et bénéfiques).

Établissement des coûts : Effectuer une estimation de référence des coûts prévus dans le temps pour l'adaptation au changement climatique ainsi que des coûts liés aux impacts résiduels de ce changement (par ex. profil temporel des coûts marginaux des émissions de CO₂).

Phénomènes météorologiques extrêmes : Mettre sur pied et maintenir des bases de données sur les coûts des fléaux naturels et des mesures d'adaptation à cet égard; élaborer des scénarios d'évolution du climat à partir d'études de cas réels de phénomènes extrêmes, incluant les réductions prévues de la période de récurrence de ces phénomènes; définir la façon dont les Canadiens perçoivent les risques liés aux fléaux naturels et à l'évolution du climat afin de mieux comprendre comment sont prises les décisions quant aux mesures d'adaptation.

Changement climatique et autres questions atmosphériques : Mener une étude intégrée sur les impacts sur le climat de toutes les émissions de gaz et de particules, sur les processus physiques et chimiques en jeu, sur les systèmes socio-économiques et les écosystèmes ainsi que sur les diverses stratégies de gestion visant toutes les questions atmosphériques; évaluer les mesures de contrôle les plus économiques et les plus acceptables socialement pour chacune de ces questions; évaluer tous les effets possibles des autres problèmes atmosphériques sur la fréquence et l'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes.

Changement climatique et autres facteurs non climatiques : Utiliser une méthode intégrée pour étudier l'incidence de stress multiples sur la santé humaine, les secteurs socio-économiques et les écosystèmes. Les études devraient considérer le changement climatique comme l'un des nombreux facteurs déterminants. Par exemple, les changements démographiques prévus, et ceux de l'utilisation des terres et de la qualité de l'air et de l'eau qui les accompagnent, continueront d'influer sur la santé et l'existence des systèmes naturels et humains. Les recherches sur les impacts et les mesures d'adaptation devraient tenir compte des intérêts contradictoires en jeu, des politiques actuelles et des demandes transfrontières.

Effets extra-territoriaux indirects : Évaluer les liens indirects entre le changement climatique, les régimes et les politiques d'échanges internationaux dans certains secteurs de l'économie au Canada, comme l'agriculture, la foresterie, les pêches et l'énergie; poursuivre la recherche sur l'incidence des réfugiés environnementaux au Canada.

Commerce et échanges intérieurs : Évaluer de quelle manière la répartition des populations au Canada serait affectée par les nouveaux flux des échanges commerciaux dus au changement climatique; améliorer les capacités d'analyse des apports et des productions en disposant de statistiques plus fiables sur les économies provinciales.

Modifications des paysages : Mettre sur pied et maintenir des bases de données sur les variables critiques afin d'améliorer la prévision des impacts du changement climatique sur les écosystèmes régionaux. Les variables nécessaires sont les moyennes saisonnières et le degré de variabilité interannuelle de la température, des précipitations, des vents et du rayonnement; la gravité et la

probabilité des phénomènes extrêmes, dont les sécheresses, les tempêtes et les inondations; la répartition, les quantités, la durée et l'étendue de la couverture neigeuse; les précipitations à diverses altitudes; la probabilité d'anomalies à court terme, comme le gel de fin de printemps ou d'été, les épisodes de temps doux ou de pluie au milieu de l'hiver et les violentes tempêtes printanières; les flux de chaleur et le rayonnement UV-B à la surface; les pressions au niveau de la mer.

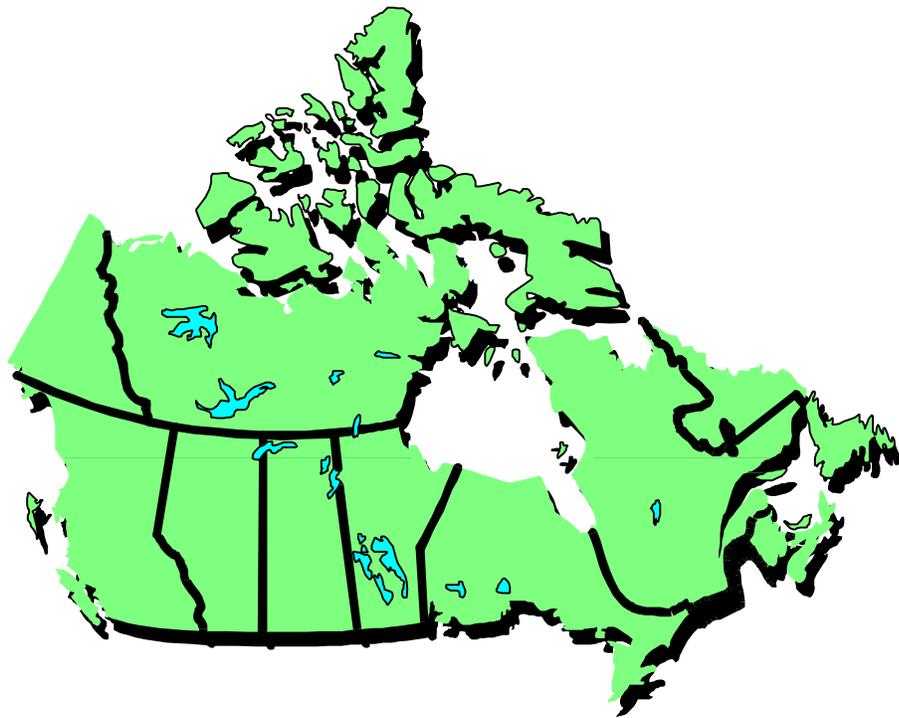
Développement durable et changement climatique : Veiller à ce que le changement climatique et le développement durable soient explicitement inclus dans les recherches sur l'un et l'autre sujet; effectuer des évaluations intégrées du changement climatique qui comprennent un choix de méthodes différentes pour compléter les modèles d'évaluation intégrée à l'échelle planétaire.

Économies nordiques de subsistance : Mener des études afin d'établir des liens entre les informations d'ordre biologique et écologique sur les impacts du changement climatique et l'utilisation des ressources locales et l'économie du Nord; déterminer les effets de changements brusques et non linéaires du climat sur les régions nordiques; établir la différence entre les effets possibles du changement climatique dans le Nord et les effets cumulatifs des mégaprojets de développement; déterminer les limites d'adaptabilité des économies de subsistance dans le Nord; mener des études pour élaborer des stratégies de gestion axées sur l'adaptation visant particulièrement la résilience des systèmes sociaux et écologiques et leur aptitude à s'adapter à l'incertitude et à un changement climatique largement imprévisible; mener des études sur la santé des populations nordiques dans le contexte des effets du climat sur la disponibilité à long terme des sources alimentaires; approfondir l'aspect épidémiologique du changement climatique dans le Nord; élaborer des méthodes pour évaluer les coûts d'une dépendance accrue à l'égard de l'aide gouvernementale et les coûts liés aux mesures d'adaptation visant à encourager l'autosuffisance.

CHAPITRE UN

ÉVALUATION DES COÛTS LIÉS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : DIMENSIONS ÉCONOMIQUES DES MESURES D'ADAPTATION ET DES IMPACTS RÉSIDUELS AU CANADA

Dale S. Rothman¹, David Demeritt², Quentin Chiotti³ and Ian Burton³



1. Biosphere 2 Center, Columbia University, 32540 South Biosphere Road, Oracle, Arizona 85623. Téléphone : (520) 896-6420, télécopieur : (520) 896-6361, courriel : daler@bio2.edu
2. Department of Geography, University of Bristol, University Road, Bristol, England BS8 1SS. Téléphone : 44 117 928 9829, télécopieur : 44 117 928 7878, courriel : d.demeritt@bristol.ac.uk
3. Groupe de recherche en adaptation environnementale, Service de l'environnement atmosphérique, 4905 rue Dufferin, Downsview, Ontario, M5H 5T4. Téléphone : (416) 739-4436, télécopieur : (416) 739-4297, courriel : Quentin.Chiotti@ec.gc.ca ou Ian.Burton@ec.gc.ca

RÉSUMÉ

Le changement climatique aura probablement des impacts nombreux et variés sur le Canada. Un certain nombre pourront être réglés par des mesures d'adaptation, qui peuvent réduire les impacts négatifs, d'autres pourront offrir des avantages. Les estimations précédentes indiquent qu'au Canada, il en coûte 1,5 à 2 % du produit intérieur brut (PIB) pour s'adapter au climat actuel. Le GIEC a présenté une estimation provisoire selon laquelle, si la concentration à l'équilibre de CO₂ dans l'atmosphère atteignait le double des niveaux de l'époque préindustrielle, avec une élévation prévue de 2,5 °C de la température, le PIB des économies actuelles baisserait de 1 à 1,5 % dans les pays industrialisés et de 2 à 9 % dans les pays en développement. Ces estimations ont été élaborées sans tenir compte (ou très peu) des impacts sur le Canada. De plus, on a quelques préoccupations quant à ces estimations, surtout du fait qu'on n'y prenne pas en considération les coûts transitoires encourus pour l'adaptation d'une société à l'évolution du climat.

Le présent document ne donne pas d'estimations financières des coûts de l'adaptation au changement climatique ni des impacts résiduels de celui-ci pour le Canada. On aborde plusieurs questions en jeu dans l'élaboration des estimations financières, on examine si les méthodes économiques classiques sont adéquates pour évaluer les problèmes sociaux et environnementaux à long terme comme le changement climatique, et l'on définit les besoins en travaux supplémentaires dans ce domaine.

INTRODUCTION : OBJECTIF DU RAPPORT

Les coûts liés au changement climatique sont généralement répartis en trois grandes catégories : les coûts liés à l'arrêt ou au ralentissement du changement, souvent appelés coûts d'atténuation des impacts; les coûts d'adaptation aux changements climatiques non évités par les mesures d'atténuation; et les coûts des impacts résiduels subsistant malgré l'adoption des mesures d'adaptation¹. Bien que l'on parle de « coûts », il convient de se rappeler que l'effet global pourrait en fait être positif, auquel cas le terme « avantages » serait plus approprié. Les politiques de réponse au changement climatique devraient en partie s'appuyer sur les renseignements les plus justes disponibles sur la portée et la répartition de ces coûts et avantages².

Le présent rapport vise à fournir une synthèse des connaissances actuelles en ce qui a trait aux deux dernières catégories de coûts, la première faisant l'objet de rapports distincts. Nous étudierons ces coûts en supposant qu'aucune mesure d'atténuation n'est adoptée. On parle alors de coûts de l'inaction. Cette expression est cependant trompeuse dans la mesure où l'adaptation

¹ Une nouvelle catégorie de coûts a été mentionnée. Il s'agit des coûts résultant du retrait du Canada de la table de négociations internationales dans le cadre de la Convention-cadre sur le changement climatique. Bien que ces coûts soient probablement significatifs, ils ne seront pas étudiés dans le présent rapport.

² Un programme d'action canadien visant la réduction des émissions de gaz à effet de serre (atténuation des impacts) par la mise en oeuvre d'efforts volontaires est déjà en place. En outre, des négociations internationales visant un accord mondial en matière d'objectifs et de calendriers d'atténuation des impacts sont actuellement en cours et pourraient avoir d'importantes répercussions sur le Canada.

constante représente une forme d'action. Nous préférons donc être plus explicites et parler des coûts d'adaptation et des impacts résiduels liés au changement climatique.

Les difficultés relatives à cet exercice sont fort connues et probablement énoncées le plus justement par William Nordhaus (1991), l'un des premiers à entreprendre ce type d'étude : « Nous passons maintenant de la *terra infirma* du changement climatique, à la *terra incognita* des impacts sociaux et économiques du changement climatique ». La nécessité de réaliser ces efforts est aussi largement reconnue. Ainsi, dans un récent article de la revue *Nature* sur l'évaluation des services rendus par les écosystèmes, Costanza *et al.* (1997) abordent un grand nombre des points discutés ici et parlent ainsi de cet aspect :

Bien que l'évaluation de l'écosystème soit certes difficile et remplie d'incertitudes, nous n'avons pas d'autre choix que de l'effectuer. Les décisions que notre société prend au regard des écosystèmes exigent des évaluations (bien que celles-ci ne soient pas nécessairement monétaires). L'on peut choisir de le faire de manière explicite ou non; l'on peut reconnaître ouvertement ou non les énormes incertitudes en cause; mais, puisque nous sommes forcés de faire des choix, nous devons mettre en oeuvre le processus d'évaluation. (traduction libre)

Le lecteur ne devrait donc pas s'étonner de l'importance que nous accorderons à des sujets liés à l'évaluation des coûts présentés dans ce rapport et ailleurs. C'est aussi partiellement en raison du peu de travaux empiriques réalisés jusqu'à présent sur l'estimation des coûts d'adaptation au changement climatique et des impacts résiduels connexes. De plus, la majorité des études menées auparavant concernaient uniquement les États-Unis et n'intégraient pas tous les aspects des systèmes humains et naturels.

Nous aimerions également inviter le lecteur à interpréter et à utiliser avec prudence les chiffres présentés ici ou dans tout autre document. Cette mise en garde est particulièrement importante pour les personnes désirant comparer ces données aux coûts d'atténuation des impacts. Selon David Pearce (1997), auteur principal du Groupe de travail III du GIEC (GTIII du GIEC) chargé de l'étude des coûts liés aux impacts du changement climatique, les estimations de ces coûts et des coûts d'atténuation des impacts et de limitation des émissions présentés par le GT III du GIEC n'étaient en aucun temps comparables, car les données sur la limitation des émissions concernent la stabilisation de celles-ci, et non l'élimination des coûts des impacts et de l'adaptation liés au doublement de la concentration de CO₂. Il serait donc inapproprié de simplement comparer les estimations fournies ici avec la plupart, si ce n'est l'ensemble, des estimations des coûts du contrôle des émissions. Cela reviendrait à comparer des oranges et des pommes en s'appuyant sur des unités de mesure, des méthodes et des postulats différents.

Enfin, comme Munasinghe *et al.* (1996) le soulignent : « Il est difficile de procéder à une analyse coûts-avantages (ACA) du fait du caractère mondial et intergénérationnel du problème. À cet obstacle s'ajoutent les difficultés reliées à l'évaluation de certains types d'impacts sur l'environnement, la culture et la santé des personnes... Le principal avantage de l'analyse coûts-avantages réside peut-être plus dans le *processus lui-même* que dans les résultats prévus. » Nous aussi croyons en l'importance prépondérante d'un processus intégrant aussi bien les impacts

possibles d'un climat en évolution que les coûts éventuels liés à l'évitement d'un nouveau climat. Nous ajoutons cependant que cette méthode doit englober beaucoup plus de paramètres que ne le fait l'ACA traditionnelle.

La section suivante de ce rapport fournit une analyse plus complète de ce que nous entendons par « mesures d'adaptation et impacts résiduels liés au changement climatique ». Ces explications sont suivies d'un aperçu de certains des problèmes fondamentaux à prendre en considération lors de toute tentative d'estimation des coûts de l'adaptation et des impacts résiduels. Nous offrons ensuite un résumé des estimations existantes concernant le Canada ainsi que d'autres parties du monde, puis nous examinons en quoi les mesures d'adaptation et les impacts résiduels liés au changement climatique dans d'autres pays peuvent toucher le Canada. Enfin, nous exposons nos conclusions et discuterons des étapes subséquentes possibles.

MESURES D'ADAPTATION ET IMPACTS RÉSIDUELS LIÉS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Cette section vise à définir globalement les coûts des impacts du changement climatique, les coûts d'adaptation au changement climatique et les coûts résiduels existant malgré l'adoption de mesures d'adaptation. Auparavant, il importe toutefois de reconnaître que les aspects du changement et de la variabilité climatiques touchant les systèmes humains et naturels sont très nombreux.

La science du changement climatique ayant insisté sur l'élévation de la température moyenne du globe, on présume souvent que les principaux impacts seront également liés au changement de la température moyenne. Cette position est tout à fait erronée, car les relations entre le changement climatique et les systèmes humains et naturels sont beaucoup plus complexes. La problématique de la température ne se limite pas à la variation des moyennes, mais englobe plusieurs autres aspects, notamment la distribution géographique et saisonnière, la variabilité interannuelle et les extrêmes. En outre, nombre d'autres facteurs climatiques peuvent s'avérer tout aussi importants que la température pour l'environnement et l'activité économique, comme les précipitations, la longueur des saisons, l'élévation du niveau de la mer, l'augmentation de l'activité des icebergs, ainsi que la fréquence, la gravité et la durée des événements extrêmes. L'accroissement du risque lié aux phénomènes extrêmes est particulièrement préoccupant. Même si les récents épisodes extrêmes ne peuvent encore être attribués de façon irréfutable au changement climatique, les dommages ont été considérables, au niveau tant national qu'international (Brun, 1997).

Qu'entend-on par « impacts du changement climatique »?

Les impacts du changement climatique sont généralement définis comme les conséquences négatives de l'absence de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). Il convient cependant de souligner que le changement climatique s'accompagne également d'avantages probables. Les impacts font habituellement référence à une chaîne de conséquences. Les impacts de premier ordre comprennent les conséquences directes pour d'autres processus environnementaux étroitement liés à l'atmosphère. Cette catégorie englobe le ruissellement, le débit des cours d'eau, le niveau des lacs, les eaux souterraines, l'humidité du sol, le niveau de la

mer et en fait toutes les étapes du cycle hydrologique. En outre, les impacts de premier ordre comprennent la répartition du pergélisol et des écosystèmes naturels, incluant les espèces sauvages, les essences forestières, etc. Les impacts de premier ordre se font sentir partout. Ils incluent de nombreux processus environnementaux et conditions naturelles de l'environnement.

Les impacts de deuxième ordre désignent les répercussions subséquentes ou immédiates, notamment celles qui touchent les secteurs économiques les plus étroitement liés à l'environnement, comme l'agriculture, la foresterie, les loisirs et le tourisme, le transport par eau, la chasse et la pêche, la production d'hydroélectricité, et les sociétés riveraines. Ces impacts de deuxième ordre peuvent prendre une multitude de formes. Prenons l'exemple des forêts et de l'industrie forestière. Advenant un changement climatique, certaines essences forestières pourraient ne pas survivre dans leurs aires ou habitats actuels, du fait des changements liés aux températures, aux saisons et aux précipitations. D'autres impacts de premier ordre peuvent entraîner des répercussions de deuxième ordre sur les forêts. Des changements dans la distribution des insectes nuisibles et des vecteurs de maladies peuvent provoquer la perte de ressources forestières. La sécheresse accrue peut entraîner un plus grand nombre d'incendies de forêts. Ainsi, la principale préoccupation concernant la disparition éventuelle des forêts boréales au Canada est attribuable à une combinaison d'impacts de premier ordre et de deuxième ordre. Ce processus d'enchaînement des impacts s'applique à tous les autres secteurs.

Les impacts de troisième ordre englobent les conséquences des impacts de deuxième ordre. Dans notre exemple des forêts, il s'agit de la perte de la faune forestière et des avantages récréatifs associés à ce type de ressources. C'est aussi la diminution du nombre d'emplois dans le secteur forestier ainsi que la dévaluation de la production de l'industrie forestière. D'autres répercussions apparaîtront, telles que la perte de revenus dans les secteurs d'activité connexes, comme la fabrication du matériel destiné à l'industrie forestière. De plus, chaque secteur touché peut à son tour entraîner des répercussions négatives sur d'autres branches d'activité, notamment l'ensemble du secteur des finances, des activités bancaires, du commerce et de l'assurance. Les impacts du changement climatique sont donc profonds et étendus.

L'évaluation de ces différentes répercussions et de leurs interrelations est extrêmement complexe et exige un certain nombre d'hypothèses simplificatrices. Bien qu'il existe des modèles macro-économiques complexes permettant d'évaluer les coûts et les conséquences de même échelle de différentes politiques d'atténuation des impacts, les meilleures méthodes actuelles ne permettent pas ce type de modélisation descendante. La méthode prédominante s'appuie sur une méthode « ascendante », regroupant les impacts de premier, deuxième et troisième ordre en une estimation globale qui tient peu compte des rétroactions entre les secteurs.

Qu'entend-on par « mesures d'adaptation au changement climatique »?

Un grand nombre des impacts du changement climatique peuvent être réduits par l'adoption de mesures, de stratégies et de politiques d'adaptation. Par « adaptation », nous entendons toutes les mesures susceptibles d'être adoptées en vue de compenser ou de réduire les impacts du changement climatique. Il peut s'agir d'initiatives autonomes de particuliers ou d'entreprises, ou de mesures adoptées dans le cadre de politiques mises en oeuvre par les intervenants chargés de la

planification et du développement des infrastructures. Plus la capacité d'adaptation d'un pays ou d'une région diminue, plus sa vulnérabilité au changement climatique augmente, ce qui fait augmenter les coûts liés aux répercussions. Des mesures d'adaptation efficaces réduisent les impacts du changement climatique et reposent, entre autres, sur les ressources technologiques du pays ou de la région en question, les mesures institutionnelles en place, les ressources financières disponibles et les échanges de renseignements (Watson, Zinyowera *et al.*, 1996). On admet généralement que les pays développés seront moins touchés que les pays en développement, en partie en raison de leur plus grande capacité d'adaptation.

Les mesures d'adaptation peuvent être classées selon différents critères, comme des échelles sociales, économiques, temporelles et géographiques (Smit, 1993), ou selon leur contenu « logiciel » (programmes, modifications des comportements) et « matériel » (machines, structures) (National Academy of Sciences Committee, 1991). Burton *et al.* (1993) proposent une typologie particulièrement utile des moyens de réponse aux fléaux naturels qui peut être appliquée au changement climatique. Ils cernent ainsi six modes d'adaptation : la capacité de résilience, la capacité de changement, la capacité de prévention, la capacité de recherche, la capacité de sensibilisation et la capacité d'évitement.

La capacité de résilience d'un système désigne l'aptitude à absorber les impacts sans que soient prises des mesures visant à prévenir ou à éviter les répercussions négatives éventuelles. Par exemple, l'assurance est une stratégie d'adaptation courante, qui permet aux gens d'absorber les impacts au moyen d'un partage des risques. Il se peut cependant qu'à long terme, les coûts liés à l'absorption des pertes par ce moyen dépassent les coûts liés à l'adoption de mesures correctives. De plus, cette réponse peut favoriser la prise de décisions inefficaces, car on risque de surestimer la résilience à l'ensemble des impacts du changement et de la variabilité climatiques (Smit, McNabb *et al.*, 1996).

La capacité de changement correspond à l'habileté d'adopter des mesures visant à réduire au minimum les pertes, en modifiant les événements dès leur apparition. Ces mesures comprennent l'ensemencement des nuages pour éviter la grêle, mais aussi des mesures visant à limiter les causes du problème. En fait, cette catégorie comprend toutes les mesures qui ont été abordées dans la partie concernant l'atténuation des impacts, ce qui montre le caractère artificiel de la distinction entre l'atténuation des impacts et l'adaptation à ces impacts, que l'on trouve dans la littérature sur le changement climatique. Nous conserverons cependant cette distinction ici.

La capacité de prévention désigne le pouvoir de mettre en oeuvre des mesures visant à réduire la vulnérabilité au changement climatique et, par conséquent, ses impacts. L'éventail des mesures préventives est très large et peut être divisé en plusieurs sous-catégories, allant de la construction de structures matérielles réduisant les impacts jusqu'aux interventions institutionnelles réglementant les actions humaines.

La capacité de recherche et de sensibilisation correspond à la mise en valeur d'activités améliorant ou encourageant la compréhension de la notion d'adaptation et des mesures pouvant être adoptées au sein de la société.

La capacité d'évitement est la faculté d'adopter des mesures, comme le changement d'usage ou d'emplacement, lorsque des changements radicaux s'imposent afin d'éviter des pertes inacceptables. Cette méthode peut être considérée comme un moyen efficace d'adaptation au changement climatique, parce que susceptible d'ouvrir de nouveaux débouchés. Cependant, lorsqu'elle prend la forme de vastes migrations de réfugiés de l'environnement, les coûts économiques, sociaux et politiques peuvent être énormes. Ce problème est abordé dans une section subséquente sur les répercussions pour le Canada du changement climatique dans d'autres régions du globe.

L'organisation actuelle de la société dans toutes ses activités socioéconomiques et ses technos-structures regorge d'exemples d'adaptation aux conditions climatiques. En fait, il est clair que le Canada, à l'instar de nombreux autres pays développés, est dans l'ensemble relativement bien adapté à son climat actuel. L'agriculture, l'industrie forestière et les autres secteurs canadiens dépendant, dans une certaine mesure, du climat donnent d'excellents résultats. En règle générale, les toits, les lignes électriques, les câbles de transmission et les ponts ne s'effondrent pas, et les structures érigées au bord des lacs, dans les régions côtières et sur le pergélisol sont stables et sécuritaires. Le fait que cette situation ne soit pas universelle et que des tempêtes ou autres phénomènes climatiques graves causent des dommages et des désastres occasionnels montre que porter une attention insuffisante à l'adaptation peut avoir des conséquences lourdes et importantes. Or, l'adaptation aux extrêmes et à la rigueur du climat n'est pas sans coûts. Bien que l'évaluation précise de ces coûts ne soit pas possible, il ne fait nul doute qu'ils sont considérables. Des estimations sommaires sont fournies dans une section subséquente du présent rapport.

La difficulté liée à l'adaptation au changement climatique réside dans le fait que les choix et les décisions émanant des secteurs public et privé devront être réexaminés et, dans de nombreux cas, modifiés. Ces rectifications devront être effectuées dans un contexte où le climat évolue à un rythme sans précédent, obéissant à des moteurs que l'on ne comprend pas complètement. Chacun de ces changements exigera des modes d'adaptation différents. Il ne fait nul doute qu'une société riche comme le Canada, dotée de compétences techniques et organisationnelles accessibles, pourra compenser au moins certains impacts du changement climatique. Cette prédiction optimiste s'accompagne cependant de trois importantes mises en garde:

- L'efficacité des moyens d'adaptation ne peut être atteinte qu'au prix d'efforts financiers dont l'évaluation reste encore fortement aléatoire. Toutefois, il est clair que ces coûts pourraient être, et seront probablement, très élevés comparativement aux coûts actuels de l'adaptation. De plus, la capacité d'adaptation varie selon les secteurs économiques, les régions du pays et les groupes sociaux (les enfants, les personnes âgées en perte d'autonomie, les personnes handicapées, les personnes pauvres ou démunies).
- Même efficaces, les efforts du Canada en matière d'adaptation climatique s'accompagneront toujours de coûts résiduels considérables résultant des changements des températures moyennes, de la variabilité et des phénomènes extrêmes. Les coûts liés aux incendies de forêts, aux inondations, à la sécheresse, aux tempêtes et autres phénomènes climatiques moins prévisibles resteront considérables et augmenteront probablement par rapport à leur niveau

actuel. Certaines régions enregistrent déjà des tendances à une hausse abrupte des températures.

- Il y aura des pertes irréversibles. L'on déplorera probablement la disparition de certaines espèces, de certains paysages et de parties du patrimoine naturel du Canada qu'il ne sera pas possible de conserver.

Enfin, l'adaptation est importante non seulement pour réduire les impacts du changement climatique sur le Canada, mais aussi pour exploiter tous les débouchés susceptibles de se présenter. Certaines régions verront la saison de croissance s'allonger; les températures hivernales pourront être légèrement moins rigoureuses; la saison libre de glace sur la voie maritime du Saint-Laurent pourrait s'allonger; et, certaines nouvelles espèces végétales et animales souhaitables pourraient apparaître au Canada. Aucun de ces aspects n'aura d'avantages économiques que si les Canadiens décident de les utiliser. L'exploitation des débouchés offerts par le changement climatique exige des efforts, de l'initiative et des investissements, qui doivent également être pris en considération lors de l'étude des impacts du changement climatique au Canada.

PROBLÈMES LIÉS À L'ÉVALUATION DES COÛTS D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DES IMPACTS RÉSIDUELS CONNEXES

Le contexte politique dans lequel s'inscrit le débat sur le changement climatique planétaire exige des estimations des coûts liés aux impacts prévisibles du changement climatique. L'objectif inhérent est de déterminer les impacts prévisibles sur le bien-être et la santé des populations. De vastes incertitudes subsistent quant à la vitesse, à l'ampleur et aux variations régionales des changements climatiques prévus, et quant à leurs répercussions sur les systèmes humains et naturels ainsi qu'à l'efficacité des mesures d'adaptation éventuelles. Au même rang d'importance se situent probablement les difficultés que présentent l'estimation des coûts liés à ces facteurs et le fait que toute évaluation des dommages s'accompagne nécessairement de jugements de valeurs. Comme Banuri *et al.* le soulignent (1996), il convient de reconnaître que les essais d'évaluation des coûts associés au changement climatique font intervenir des jugements de valeurs difficiles et discutables, et que des hypothèses différentes peuvent modifier considérablement les conclusions. Grubb (1995), pour sa part, fait remarquer que, sous leur apparente objectivité, les évaluations économiques sont empreintes de l'échelle de valeurs du gestionnaire qui les réalise.

Bien qu'il existe d'autres méthodes et que l'évaluation financière soit hautement discutable, même au sein de l'économique (Vatn et Bromley, 1995), il s'agit d'une méthode standard utilisée pour représenter les changements touchant le bien-être. Ce type d'évaluation représente un défi de taille. Le changement climatique influera sur un éventail impressionnant de processus physiques, géochimiques, biologiques et socioéconomiques. L'évaluation de ces différents impacts et des coûts afférents poussera les techniques d'évaluation dans leurs retranchements, et probablement au-delà (Fankhauser, 1995). Dans cette section, nous examinons un certain nombre de questions clés devant être prises en considération dans la réalisation d'un pareil exercice ou dans l'étude des travaux réalisés par d'autres personnes.

Généralités sur l'évaluation**Évaluation financière vs valeur sociale**

Il importe de reconnaître d'ores et déjà la différence existant entre la valeur financière et la portée plus générale de la valeur sociale. L'évaluation financière correspond à une représentation particulière, et quelque peu limitée, de la valeur étroitement associée au prix qui serait payé pour un bien ou un service particulier. Ce montant dépend d'un certain nombre de facteurs qui ne sont pas nécessairement liés à ce qu'un grand nombre de personnes considéreraient comme une véritable mesure de la valeur. L'exemple souvent utilisé pour illustrer cette différence est le paradoxe des diamants et de l'eau. Le prix des diamants est fortement supérieur à celui de l'eau, mais nul n'a jamais perdu la vie parce qu'il ne possédait pas de diamants, alors qu'il est impossible de vivre plus de quelques jours sans eau.

Hypothèse de substituabilité inhérentes à l'utilisation d'une unité de mesure commune

L'évaluation suppose généralement de ramener les valeurs à une unité de mesure commune. Dans le cas de l'évaluation monétaire, cette unité de mesure est le dollar ou toute autre devise. L'utilisation d'une unité commune contient en soi la présomption très significative de la substituabilité d'éléments très différents. Si une valeur exprimée en dollars peut être attribuée à un baril de pétrole et à une vie humaine, cela signifie-t-il qu'un nombre suffisant de barils de pétrole peut se substituer à une vie humaine? Peut-on compenser l'extinction d'une espèce en plaçant dans une banque les valeurs d'actif générées par le phénomène de disparition en vue de capitaliser les intérêts sur ces valeurs? (Clark, 1973)

Les divergences d'opinion sur la substituabilité sous-tendent plusieurs des débats sur le développement et la détérioration à long terme de l'environnement. Cette question a longuement été traitée dans la littérature sur le développement durable et abordée brièvement dans le deuxième rapport d'évaluation du GIEC (Pearce *et al.*, 1996). Un « développement répondant aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs » suppose-t-il que les générations futures devraient hériter d'un monde offrant toutes les ressources du monde actuel? (Commission mondiale de l'environnement et du développement, 1987). Ou bien une ressource en quantité supérieure peut-elle compenser la perte irréversible d'une autre?

Pearce *et al.* (1994) distinguent deux façons d'aborder la question, soit par la durabilité limitée et la durabilité étendue. La durabilité limitée permet de compenser l'appauvrissement de certaines ressources naturelles par l'augmentation de biens capitaux ou par l'apport d'autres ressources. Les partisans de la durabilité limitée présument de la possibilité d'une substitution infinie des ressources. Ils sont ainsi moins préoccupés par l'éventualité d'impacts irréversibles et d'extinctions, car ils considèrent que les générations futures pourront compenser de façon adéquate toute diminution des réserves d'une ressource naturelle par l'accroissement d'un autre type de ressource. Cette optique est inhérente à tout mode d'évaluation financière des impacts du changement climatique qui ramène tous les différents impacts à une seule unité de mesure monétaire.

Les tenants de la durabilité étendue considèrent que certains biens et services environnementaux et sociaux sont irremplaçables et qu'ils doivent donc être préservés. À proprement parler, cette méthode condamnerait la consommation de toute ressource naturelle non renouvelable. Dans la pratique, la plupart des partisans de la durabilité étendue permettent des échanges et substitutions limités de biens. Leur refus d'infliger des dommages à l'environnement exprime, d'une part, une réticence morale à l'idée de considérer les « améliorations probables du bien-être des générations futures... comme des 'compensations' pour les dommages sciemment infligés par les générations actuelles » (Pearce *et al.*, 1996) et, d'autre part, la conviction que nombre d'impacts irréversibles sur l'environnement ne peuvent être compensés par aucune ressource de substitution. Au sein de cette perspective axée sur la durabilité étendue, Pearce *et al.* (1996) distinguent deux grandes normes en matière d'évaluation des coûts liés au changement climatique :

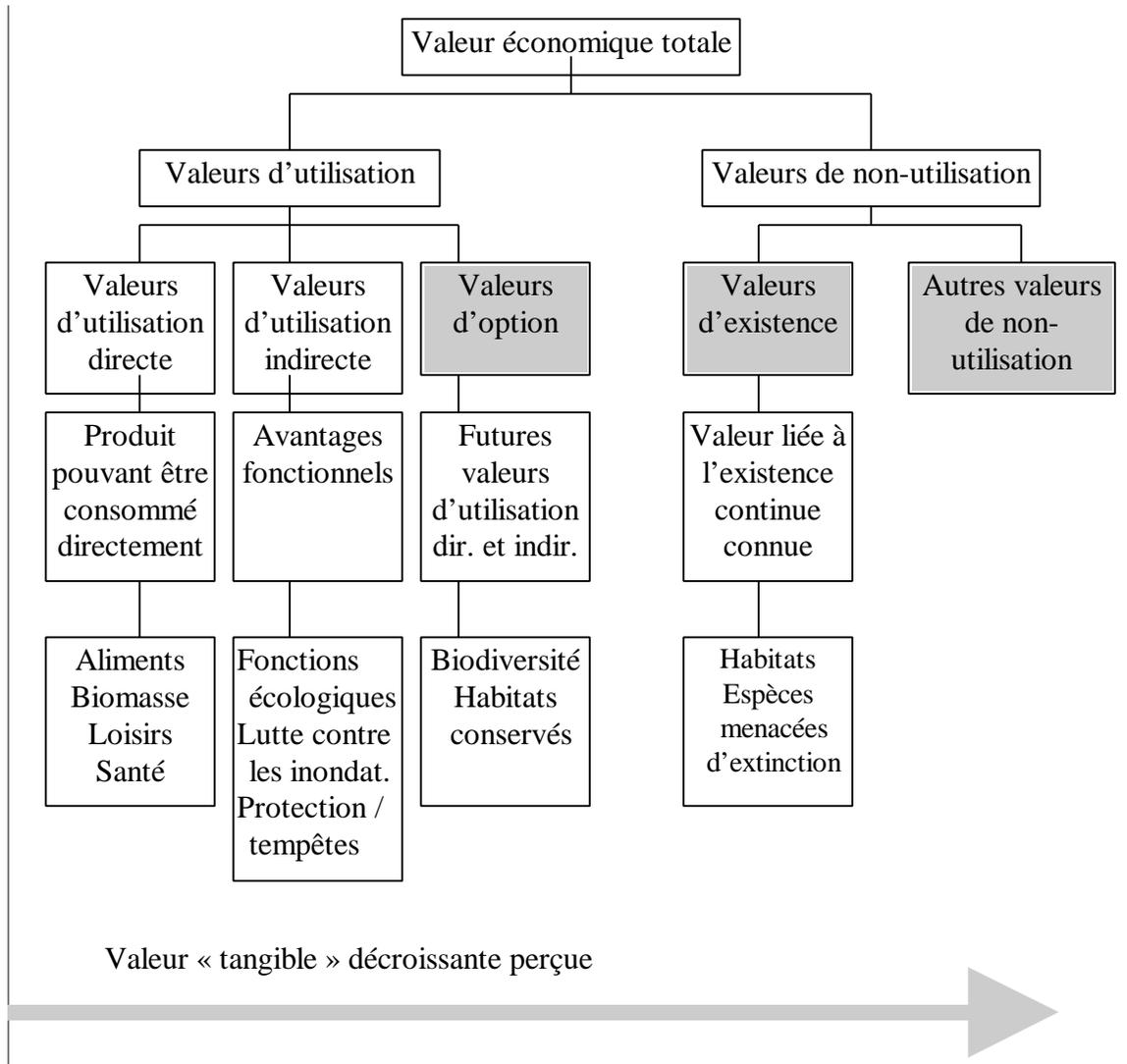
- Conception fondée sur les normes absolues : l'obligation d'éviter tous dommages environnementaux étant absolue, les coûts liés aux impacts du changement climatique, comme leurs coûts d'atténuation, ne sont pas une notion pertinente.
- Conception fondée sur les normes minimales de sécurité : comme de nombreux impacts sont irréversibles et les risques incertains, les dommages devraient être évités, dans la mesure où cela (les coûts d'atténuation des impacts) n'impose pas de coûts inacceptables.

Méthodes d'évaluation

Évaluation de la valeur marchande et de la valeur non marchande

Au chapitre de l'évaluation financière, cinq types de valeurs ont été définies : les valeurs d'utilisation directe, les valeurs d'utilisation indirecte, les valeurs d'option, les valeurs d'existence et les autres valeurs de non-utilisation (fig. 1.1). Idéalement, toutes ces valeurs devraient refléter le prix de biens ou services vendus sur un marché libre et concurrentiel, où les impacts de la production et de l'utilisation desdits biens ou services ont été pris en considération. Le prix exprime alors de façon juste la valeur économique. Dans la réalité, ces conditions sont rarement rassemblées : nombre de produits ne sont ni achetés ni vendus, nombre de marchés ne sont ni libres ni concurrentiels et nombre de facteurs externes ne sont pas pris en considération dans l'établissement des prix des biens ou des services.

Figure 1.1 Catégories de valeurs économiques attribuées aux ressources environnementales



(Source : Munasinghe *et al.*, 1996)

Les économistes ont mis au point diverses techniques d'attribution de valeurs économiques aux biens et services marchands. La valeur économique peut être déterminée par approximation, généralement selon le coût de remplacement du produit ou service en question. En outre, il existe des techniques d'attribution de la valeur axées sur les marchés indirects, comme la méthode des coûts de déplacement, qui fonde les estimations monétaires sur les données des coûts du déplacement jusqu'à un site récréatif ou un lieu d'activité particuliers, ou les méthodes hédonistiques d'établissement des prix, qui tentent de décomposer les écarts entre les propriétés et les salaires en éléments reflétant la valeur d'utilisation de biens non marchands comme la qualité de l'air ou le risque de mortalité. Des méthodes directes, comme la méthode des enchères, ont également été développées; elles consistent à demander directement aux personnes ce qu'elles

paieraient pour des biens habituellement non commercialisés ou ce qu'elles accepteraient à titre de compensation advenant le retrait de ces biens (M. Freeman III, 1993).

Bien que souvent acceptées par les milieux de l'économie politique et d'autres disciplines, ces techniques d'évaluation restent problématiques dans de nombreux cas. Comme nous l'avons mentionné précédemment, un grand nombre, pour ne pas dire la plupart, des marchés existants ne sont pas libres et intègrent peu de facteurs externes. Pour que les prix reflètent la valeur économique exacte, certaines exigences assez strictes doivent en outre être respectées, entre autres l'existence d'un monde d'agents rationnels, qui connaissent parfaitement les conséquences de leurs actions et qui peuvent donc constamment agir de façon à optimiser leur utilité individuelle. Les critiques prétendent que le comportement humain confirme rarement cette présomption de rationalité économique. Les gens ne comprennent pas toujours les impacts de leurs comportements ou les coûts associés à différents échanges. D'autres valeurs non économiques comme la famille, la collectivité et la religion sont également importantes, mais l'évaluation monétaire, comparativement à d'autres formes d'évaluation, est peu appropriée pour les exprimer. Ces paramètres non économiques rendent souvent l'évaluation monétaire très difficile, voire déplacée, pour nombre d'individus.

Les efforts déployés jusqu'à présent en matière d'estimation des coûts associés au changement climatique reflètent bien cette difficulté. Si l'on s'appuie sur les cinq types de valeurs économiques mentionnées plus haut et apparaissant à la figure 1.1, l'on remarque que plus on s'éloigne des valeurs d'utilisation directe, plus faibles sont les efforts visant à inclure ces valeurs dans les estimations des coûts liés au changement climatique. Certaines sont même catégoriquement exclues, comme en témoigne Nordhaus (1994), citant un expert interrogé sur les impacts éventuels du changement climatique et qui déclare que, pour lui, la valeur d'existence des espèces n'est pas pertinente. Pour prendre un autre exemple, l'étude à paraître de Mendelsohn et Neuman, qui reflète les tendances les plus récentes dans le domaine, omet les impacts non économiques comme les impacts sur la santé, l'esthétique et certains écosystèmes. Ces impacts non économiques regrouperont probablement certains des impacts les plus graves du changement climatique à venir. Une évaluation économique qui les omet sous-estimera systématiquement les coûts véritables du changement climatique, fournissant une base d'analyse incomplète et déformée aux décideurs chargés de traiter la menace qu'il représente.

Capacité de paiement et distorsion liée aux revenus

L'une des préoccupations fondamentales en matière d'évaluation économique est que la plupart des techniques ont un biais défavorable aux personnes à faible revenu. Les prix des biens marchands sont en effet fonction de la demande effective, c'est-à-dire de la capacité des personnes à faire sentir leur demande sur le marché. Pour les biens non marchands, la disposition à payer et la disposition à accepter une compensation sont théoriquement deux facteurs de mesure valides. C'est pourtant sur le premier que repose généralement l'évaluation.

Comme la demande effective et la disposition à payer sont déterminées par la capacité de payer, c'est-à-dire la richesse ou le revenu, « l'évaluation monétaire produit des résultats suggérant que l'impact {du changement climatique} est moindre s'il touche les personnes pauvres ou les

habitants des pays pauvres » (Banuri *et al.*, 1996). Cette distorsion liée aux revenus était au centre de la controverse concernant le GIEC et son traitement de la valeur d'une vie statistique qui, selon qu'elle s'appuie sur la disposition à payer ou sur le revenu, est beaucoup plus élevée dans les pays développés que dans les pays en développement (Pearce, 1996; Pearce *et al.*, 1996).

Regroupement des estimations concernant des particuliers, des secteurs et des lieux différents

Spécificité géographique des estimations

Comme l'évaluation économique des impacts du changement climatique est très difficile, elle n'a été tentée que pour un ensemble limité de biens et de services et un ensemble limité de valeurs, dans un nombre limité de lieux. La plupart des travaux ont été axés sur les États-Unis et nombre d'estimations relatives à des lieux tout à fait différents ont été réalisées à partir des résultats concernant ce pays. Cependant, les structures biologiques, sociétales et économiques ainsi que les cultures et les valeurs varient fortement d'un pays à l'autre et au sein du même pays. En outre, pour certains pays, les valeurs liées aux températures et aux précipitations peuvent se situer hors de la plage sur laquelle les estimations initiales étaient basées.

Biais défavorisant les personnes démunies et les pays pauvres

Comme il a été mentionné dans la section précédente, l'évaluation économique porte préjudice, de façon inhérente, aux personnes démunies et aux habitants des pays pauvres. Nombre de gens ont suggéré de traiter ce problème par la méthode de regroupement des impacts sur les personnes. L'estimation des impacts globaux du changement climatique pose les mêmes problèmes éthiques que l'évaluation du bien-être sociétal, dans la mesure où des choix doivent être faits quant au mode de pondération des mesures du bien-être individuel. Fankhauser, Tol et Pearce (1996) montrent que des systèmes de pondération différents peuvent conduire à des estimations globales des impacts du changement climatique très divergentes. Dans les cas où le bien-être de toute la population est pris en considération, la pondération uniforme standard conduit toujours aux estimations globales les plus basses, avec un facteur de divergence qui peut atteindre 5.

Omission des interactions

Enfin, lorsqu'on estime les valeurs économiques sur de petites échelles et qu'on les regroupe, d'importantes interactions et interdépendances sont perdues. Considérant les impacts d'ordre supérieur du changement climatique, Tol (1996) souligne que le coût de l'ensemble des impacts est plus élevé que la somme des coûts des impacts séparés. La méthode habituellement utilisée dans les études d'évaluation des impacts du changement climatique sur l'agriculture offre un bon exemple de ce phénomène. Comme l'agriculture ne représente qu'entre un et deux pour cent du PIB des pays développés, dont le Canada, la disparition totale de l'agriculture canadienne n'entraînerait, selon l'évaluation standard des impacts du changement climatique, qu'une perte comprise entre un et deux pour cent du PIB. Cette estimation laisse toutefois de côté l'extrême dépendance à l'agriculture d'autres secteurs de la société canadienne. (Howarth et Monahan, 1992, montrent à quel point la prise en considération de ces liens d'interdépendance peut modifier les estimations).

Regroupement des estimations dans le temps

Évolution des valeurs

L'estimation des coûts liés au changement climatique à venir dépend des hypothèses quant aux types de sociétés qui existeront alors. Quel sera leur degré de vulnérabilité? Dans quelle mesure pourront-elles s'adapter de manière efficace? Et, facteur peut-être plus important encore, dans quelle mesure les valeurs et préférences des membres de ces sociétés auront-elles évolué par rapport à l'époque actuelle?

La plupart des calculs des coûts liés au changement climatique à venir se fondent sur les valeurs monétaires actuelles. Or, celles-ci expriment les pratiques culturelles et les préférences actuelles, et non celles qui prédomineront à l'avenir. La nature trans-générationnelle du changement climatique introduit donc un facteur d'incertitude fondamental dans l'estimation des coûts liés à ce phénomène. Tol (1994) montre qu'en supposant, à la lumière des hausses de revenus prévues, l'accroissement de la disposition à payer en faveur des biens touchant la protection de l'environnement, les coûts du changement climatique pourraient être considérablement plus élevés que les estimations courantes.

De tels ajustements peuvent tenir compte de la préférence relative croissante des futures générations pour de plus grandes quantités de biens et services environnementaux actuellement prisés, mais ne tiennent pas compte du fait que les générations futures pourraient accorder à l'environnement une valeur différente de la nôtre. Prenons l'exemple des marais salés côtiers, actuellement menacés par la montée du niveau de la mer. Largement ignorés aujourd'hui, sauf pour leur valeur d'agrément et les habitats humides qu'ils fournissent, les marais endigués étaient, au siècle dernier, parmi les terres agricoles les plus prisées au Canada parce qu'ils produisaient le foin alimentant les véhicules à traction chevaline de l'époque. L'estimation des coûts économiques liés à l'inondation des marais salés littoraux du Canada auraient été, en 1897, beaucoup plus élevée qu'à l'heure actuelle. De même, les feuillus de l'est, considérés par les experts forestiers du siècle dernier comme des végétaux indésirables, sont aujourd'hui des produits précieux destinés à la récolte de la biomasse (Irland, 1996).

Distorsions résultant de la projection dans l'avenir - Actualisation

Partant de l'hypothèse que les gens sont impatients et préféreraient recevoir un dollar aujourd'hui plutôt que demain (le pur taux de préférence pour le présent), et qu'un dollar vaut moins pour un riche, ce que nous sommes tous censés devenir, que pour un pauvre (utilité marginale décroissante du revenu), les économistes appliquent souvent un taux d'actualisation aux valeurs prévisionnelles afin de les regrouper sur une échelle temporelle. Cette pratique s'appuie sur l'idée d'un agent économique seul, à longue espérance de vie et capable de faire des choix rationnels entre des avantages présents et futurs. Cette présomption ne tient cependant pas compte de la longue période concernée par le changement climatique, laquelle commande des décisions quant à la répartition des coûts et des avantages sur plusieurs générations. Cet aspect a amené plusieurs auteurs (Broome, 1992; Howarth et Norgaard, 1995; Arrow *et al.*, 1996; Khanna et Chapman,

1996) à affirmer que le procédé d'actualisation est impropre à l'évaluation des dommages liés au changement climatique.

Le débat relatif à l'actualisation est important car le calcul des coûts du changement climatique (et donc des recommandations en matière de politiques qui en découlent) dépend fortement du taux d'actualisation choisi. Par exemple, en s'appuyant sur un taux d'actualisation de 7 % (taux fréquemment utilisé dans les analyses de projets à court terme), des dommages dont la valeur sera d'un milliard de dollars dans 50 ans auront une valeur actuelle de seulement 33,9 millions de dollars; les mêmes dommages dans 200 ans auront une valeur de seulement 1 300 \$.

Différence entre un climat en évolution et un nouveau climat

Afin de réduire au minimum l'effet cumulé des incertitudes qui apparaîtraient si l'on essayait de prévoir les changements économiques et sociaux, les estimations des coûts liés au changement climatique s'appuient généralement sur un modèle de référence actuel. C'est-à-dire qu'elles mettent en évidence la différence entre le PIB enregistré par l'économie actuelle dans les conditions climatiques actuelles et le PIB affiché par l'économie actuelle, dans des conditions climatiques différentes. Par le maintien des mêmes variables sociales et économiques, ces estimations tentent de mettre en lumière les différences spécifiques que générerait un nouveau climat.

En appliquant simplement de nouvelles conditions climatiques à l'économie actuelle, ces estimations laissent de côté les coûts liés à un climat en évolution, notamment des coûts d'adaptation au nouveau climat. Les coûts liés à nombre de mesures d'adaptation ne sont donc pas pris en considération et, dans de nombreux cas, la capacité d'adaptation, dont on a prouvé qu'elle réduisait considérablement les impacts du changement climatique (Fankhauser et Tol, 1996), peut être largement surestimée. Dans certains secteurs, notamment le domaine de l'agriculture, ces coûts, qui dépendent fortement de la vitesse de variation, peuvent déformer les coûts d'équilibre liés au nouveau climat. Tol (1996) propose un modèle théorique plus complet et montre de façon empirique que les hypothèses relatives au changement climatique et à la vitesse de réparation des dommages et d'adaptation influent considérablement sur les impacts du changement climatique.

Incertitudes

Incertaines liées à l'évolution du climat

Pour pallier un grand nombre d'incertitudes liées à l'estimation des impacts du changement climatique, on s'appuie généralement sur plusieurs hypothèses simplificatrices. Comme il a été mentionné précédemment, les estimations concernent souvent l'impact d'un nouveau climat sur la société actuelle. Deuxièmement, bien que le changement climatique soit un processus constant, ne présentant pas de véritable état d'équilibre, la plupart des études examinent les répercussions d'un nouveau climat ayant atteint un équilibre. Troisièmement, même s'il est très probable que les concentrations atmosphériques de CO₂ dépasseront de plusieurs fois les valeurs pré-industrielles, faute d'efforts visant à réduire les émissions de GES, presque toutes les études sur les impacts du changement climatique et les mesures d'adaptation ont jusqu'à ce jour fondé leurs estimations sur

l'hypothèse d'un doublement de la concentration. Cette pratique est due, à bien des égards, aux premières expériences avec les MCG, lesquelles étaient axées sur des hypothèses doublant les concentrations de CO₂. Enfin, bien que la possibilité d'impacts imprévisibles et catastrophiques soit largement reconnue, la plupart des études ne la prennent pas explicitement en considération, préférant envisager une évolution progressive vers un nouveau climat.

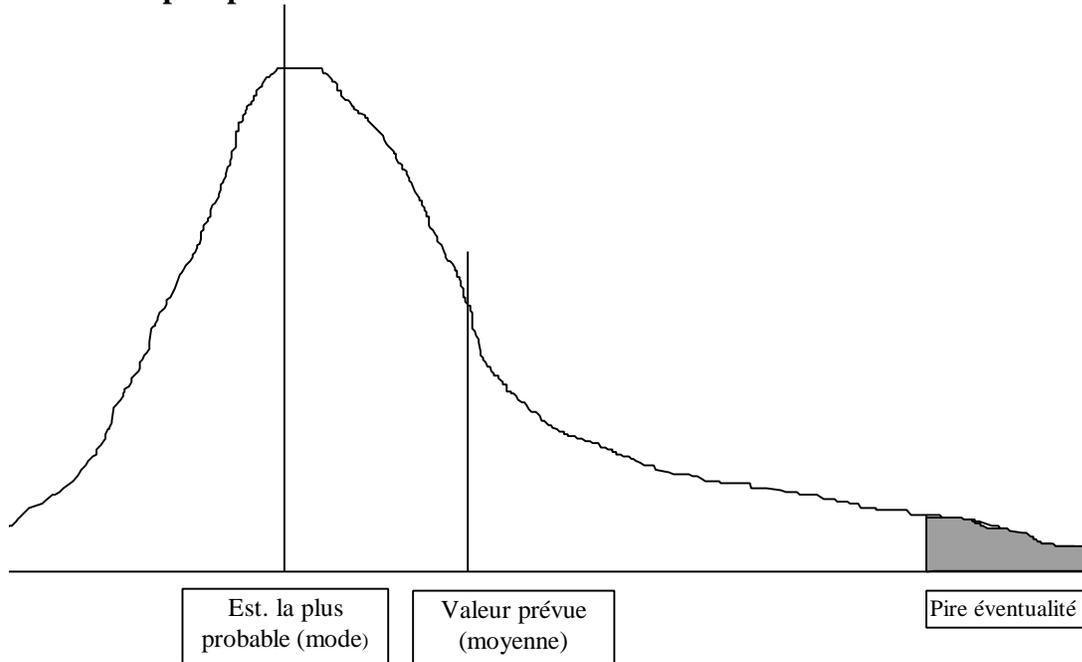
Chacune de ces hypothèses entraîne probablement un biais de sous-estimation des impacts d'un climat en évolution. Nous avons déjà noté que le fait d'axer les études sur un nouveau climat passe outre nombre de coûts transitoires associés à un climat en évolution. Ce biais est probablement plus marqué si les changements ne se produisent pas de façon progressive. En limitant l'analyse à l'hypothèse d'un doublement de la concentration de CO₂, on néglige les impacts d'un changement climatique de plus grande envergure. Cline (1992) et d'autres ont souligné que cette dernière catégorie de changements augmentera probablement plus rapidement que les changements climatiques. Bien sûr, l'importance de ces phénomènes, que certains considèrent comme improbables, dépend dans une large mesure de la façon dont les experts chargés d'estimer les impacts du changement climatique traitent le problème lié à l'actualisation décrit plus haut.

Représentation de l'incertitude

Il a été auparavant souligné que la plupart des études effectuées relativement aux impacts et à l'adaptation sont fondées sur un changement climatique exprimé en terme de variation de la température moyenne du globe, et qu'elles présument une évolution graduelle vers un nouveau climat d'équilibre. Bien que l'éventualité d'impacts imprévisibles et catastrophiques soit largement reconnue et que certaines études se soient penchées sur la question de l'incertitude associée aux changements climatiques et aux réponses humaines, la représentation des coûts s'est concentrée sur les « estimations les plus probables » rattachées au scénario le plus plausible.

La figure 1.2 illustre le problème lié à cette optique. Nombre de courbes représentant les incertitudes liées au changement climatique montrent une extrémité droite plus allongée. La zone d'incertitude n'est donc pas symétrique : il existe relativement plus de possibilités d'événements à faible probabilité et à impacts forts. Dans ces situations, les impacts associés aux événements à plus forte probabilité peuvent être considérablement plus faibles que les impacts estimés selon une moyenne pondérée en fonction de la probabilité d'occurrence et des dommages prévisibles. En réalité, l'estimation la plus probable minimise le risque des scénarios aux impacts très forts. En outre, le choix d'une politique axé sur l'estimation la plus probable serait le propre d'une société encline à prendre des risques, car la prime de risque, c'est-à-dire la différence entre l'estimation la plus probable et la valeur prévue, est négative. Ceci va à l'encontre de la plupart des choix de politiques publiques, pour lesquels une prime de risque positive s'applique, ce qui reflète la nature d'une société peu encline à prendre des risques.

Figure 1.2 Répartition des dommages, événements catastrophiques et estimations les plus probables



(Source : Fankhauser, 1995)

Une autre aspect problématique de la représentation de l'incertitude concerne la comparaison de différentes études, auquel cas seuls les totaux sont généralement pris en considération. Comme nombre de ces études consistent en regroupements d'estimations sectorielles indépendantes, il serait plus approprié de retenir l'intervalle d'estimations associé à chaque secteur avant de procéder au regroupement des valeurs. Cette mesure permettrait d'élargir la zone d'incertitude et de mettre plus clairement en évidence la possibilité de dommages beaucoup plus graves (Demeritt et Rothman, à venir).

ESTIMATIONS ANTÉRIEURES DES COÛTS D'ADAPTATION ET DES IMPACTS RÉSIDUELS LIÉS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DU CANADA

Dans certaines études, on a tenté de compiler des regroupements d'estimations des coûts d'adaptation et des impacts liés au changement climatique sous forme de dollars ou de parties de PIB (Smith et Tirpak, 1989; Ayres et Walter, 1991; Nordhaus, 1991; Cline, 1992; Titus, 1992; Fankhauser, 1994a; Nordhaus, 1994b; Fankhauser, 1995; Tol, 1995; Tol, 1996b; Mendelsohn et Neumann, à paraître; Mendelsohn *et al.*, en cours). Pour des raisons historiques et statistiques, la plupart de ces études étaient axées sur les États-Unis, mais quelques-unes ont directement abordé d'autres régions du monde (Fankhauser, 1994a; Tol, 1995), ou se sont efforcées d'appliquer leurs résultats à ces régions (Ayres et Walter, 1991; Nordhaus, 1994a; Mendelsohn *et al.*, en cours). De la même façon, un grand nombre d'études ont aussi examiné l'incidence d'un modèle de référence concernant le doublement des concentrations de CO₂ à l'équilibre dans l'atmosphère sur la société actuelle. (Cline (1992) étudie les répercussions d'un réchauffement à long terme attribuable à des concentrations huit fois plus élevées; Mendelsohn *et al.* (à paraître) ont émis des postulats

concernant les répercussions que subiront les États-Unis en 2060 en posant des hypothèses sur la démographie et la croissance économique).

Les principaux sujets abordés dans ces études, au chapitre de la monétisation, concernent l'élévation du niveau de la mer, l'agriculture, la demande énergétique changeante, mais d'autres facteurs comme le recul de la forêt, les pertes d'espèces, les agréments, la morbidité et la mortalité humaine, les migrations, les dommages causés par les ouragans, les activités récréatives, la quantité et la qualité de l'eau, l'infrastructure urbaine et la qualité de l'air sont également abordés dans une ou plusieurs de ces études. De ces thèmes, la protection contre l'élévation du niveau de la mer, les changements dans la demande énergétique et l'infrastructure urbaine représentent des mesures d'adaptation proprement dites, le reste étant une combinaison d'adaptation et d'impacts résiduels. Compte tenu de cette liste, il est clair que, même si tous les sujets mentionnés précédemment ont été pleinement pris en compte, une très grande partie des systèmes naturels et humains ne l'ont pas été. Cette liste partielle des sujets omis, dressée par le GT III du GIEC (Pearce *et al.*, 1996), englobe les éléments suivants : incidence sur les secteurs de l'assurance, de la construction, des transports et de l'approvisionnement énergétique; dommages causés par les tempêtes extra-tropicales, débordements des rivières, vagues de chaleur ou de froid, et autres catastrophes; autres pertes subies par l'écosystème; et répercussions sur l'homme, y compris la morbidité, le bien-être physique, la stabilité politique, et la misère humaine. Costanza *et al.* (1997) dressent une liste de dix-sept services clés offerts par les écosystèmes naturels, dont peu ont été considérés dans la plupart des estimations monétaires des impacts du changement climatique.

Estimations internationales

Pierce *et al.* (1996), Fankhauser et Tol (1996), et Smith (1996), dressent un résumé des études mentionnées ci-dessus. Leur conclusion générale est que des concentrations atmosphériques de CO₂ à l'équilibre doubles des niveaux préindustriels, jumelées à l'élévation prévue de la température de 2,5 °C, entraîneraient une réduction de 1 à 1,5 % du PIB actuel dans les pays développés et de 2 à 9 % dans les pays en voie de développement (soit de 1,5 à 2,0 % dans l'ensemble). Le tout faisant l'objet, bien entendu, de toutes les mises en garde précédentes présentées dans ce document. Plus particulièrement, ces plages ne représentent que l'incertitude due à la comparaison des totaux; une comparaison sectorielle donnerait des incertitudes beaucoup plus élevées. Peut-être parce qu'elles reflètent en partie cette plus grande incertitude, ces plages contredisent les avis des spécialistes qui situent cette réduction entre 0 et 21 % du PIB total. La répartition de ces estimations rend bien compte du problème mentionné préalablement au sujet des valeurs prévues et des estimations les plus probables. La moyenne, ou valeur moyenne, correspond à 3,6 %, taux considérablement plus élevé que l'estimation la plus probable qui est de 1,9 % (Nordhaus, 1994a)³.

Plusieurs études ont tenté de convertir les estimations de référence en valeurs concernant les dommages par tonne d'émissions (Nordhaus, 1991; Fankhauser, 1994a; Nordhaus, 1994b; Bein et Rintoul, 1996; Tol, 1996a). Ces estimations s'avèrent encore plus problématiques que les estimations de référence. Dans la section 3, nous en avons abordé certaines des raisons, en

³ Dans ce cas, l'estimation la plus probable renvoie à la valeur médiane, c.-à-d. la valeur qui se situe à mi-chemin entre les autres estimations (les estimations qui la précèdent et celles qui la suivent).

particulier celles ayant trait aux cumuls des estimations dans le temps. Bein et Rintoul (1996) montrent que, selon les hypothèses de chacun, ces valeurs peuvent passer de moins de 10 \$ à plus de 4 000 \$ par tonne d'émissions de CO₂, selon les hypothèses posées quant aux dommages de référence, au taux d'actualisation et à la période étudiée. Dans son résumé, le GT III du GIEC (Pearce *et al.*, 1996) situe les coûts sociaux marginaux actuels des émissions de CO₂ entre 18 \$ et 458 \$ par tonne, ces chiffres s'accroissant avec le temps en présence d'une croissance économique et d'une augmentation des concentrations de CO₂.

Estimations pour le Canada

La détermination des coûts d'adaptation et des impacts résiduels liés au changement climatique du Canada est une tâche ardue, étant donné le peu de données dont on dispose. Un examen de la littérature tend à confirmer le manque de données dont il a été souvent question lors d'un récent atelier de l'ÉPC : il n'existe aucune base solide à partir de laquelle on peut évaluer les impacts et les coûts d'adaptation. Comme le montre clairement le rapport du GT II du GIEC, des progrès considérables ont été réalisés dans la définition des options d'adaptation au changement climatique, mais on a peu d'informations sur les coûts réels d'adaptation ou les coûts résiduels encourus en dépit des mesures d'adaptation prises. Les stratégies d'adaptation discutées s'inspirent d'exemples venant du monde entier et, bien qu'ils soient exhaustifs - gestion des grands pâturages libres, gestion intégrée des zones côtières, politiques sur les migrations, utilisation efficace de l'énergie, glissements de terrains, gestion des déchets et assainissement de l'air, transports, approvisionnement en eau, santé, modes de comportement, agriculture, ressources aquatiques, forêts et pêche - les exemples cités ne s'appliquent pas tous au contexte canadien. Par ailleurs, la majeure partie (80 %) des stratégies d'adaptation examinées par le GT II du GIEC tendent à être de nature préventive (Watson *et al.*, 1996), ce qui laisse supposer que beaucoup d'autres stratégies d'adaptation n'ont pas été prises en compte dans leur évaluation (Andrey *et al.*, 1996).

Smit (1993) offre un grand nombre d'exemples d'adaptation à la variabilité et au changement climatiques possibles au Canada. Ces exemples s'inspirent de différentes formes d'adaptation aux conditions climatiques passées, présentes et éventuelles. Un inventaire effectué à partir d'un examen approfondi de la littérature est également fourni, bien que les auteurs fassent remarquer que même leur liste n'est pas vraiment exhaustive (Smit, 1993). Comme on pouvait s'y attendre, les coûts associés à ces options d'adaptation ne sont pas inclus, et l'évaluation des coûts dans de nombreux secteurs et domaines, par exemple, l'agriculture, l'Arctique, les zones côtières, les écosystèmes et l'utilisation des terres, l'approvisionnement en énergie, les pêches, la foresterie, l'infrastructure urbaine et les ressources aquatiques, constitue une tâche ardue. Cet état de fait laisse présumer que d'autres méthodes doivent être trouvées afin d'obtenir des estimations justes de l'adaptation et des coûts résiduels. Préalablement, il importe de souligner le consensus général existant dans la documentation sur au moins trois points importants. Premièrement, le coût des mesures d'adaptation variera selon les régions et les secteurs; des recherches plus approfondies à l'échelle nationale et régionale seront nécessaires pour améliorer notre compréhension de ces coûts. Deuxièmement, bon nombre des mesures prônées pour l'adaptation au changement climatique ne constituent que des variantes mineures de mesures ou technologies déjà en place ou accessibles, et permettent de présumer que les coûts connexes pourraient être peu élevés, en

particulier lorsque ces mesures sont entreprises tôt. Finalement, les décideurs pourraient avoir une bonne compréhension, quoique partielle, de la vaste gamme d'options d'adaptation disponibles au Canada et déjà utilisées face au climat actuel. On se demande beaucoup plus, cependant, si ces connaissances seront suffisantes pour permettre une adaptation efficace au changement climatique.

Trois études ont tenté d'évaluer les coûts d'adaptation au climat actuel du Canada, et/ou les coûts éventuels d'adaptation au changement climatique et des impacts résiduels. Les deux dernières s'appuient sur une modification des estimations concernant les États-Unis et doivent donc être prises avec réserve.

Herbert et Burton - Estimations des coûts actuels d'adaptation

Herbert et Burton (1994) ont réalisé une enquête préliminaire des coûts actuels d'adaptation au climat. Il importe de mentionner que ces coûts sont différents des coûts d'adaptation au changement climatique. Ils constituent néanmoins un bon point de départ puisqu'ils fournissent une mesure de référence à partir de laquelle les coûts futurs peuvent être évalués. Bien que le climat du Canada soit l'un des plus variés et des plus extrêmes de la planète, les coûts d'adaptation au climat actuel sont souvent tenus pour acquis. L'adaptation au climat actuel est le fruit d'une accumulation lente et progressive de politiques et de pratiques destinées à protéger les citoyens et les biens tout en permettant aux activités économiques et sociales de se poursuivre avec un minimum de pertes ou d'interruptions. Les coûts d'adaptation au climat actuel tendent à faire partie des dépenses et des budgets courants. En raison du changement climatique, on s'attend à ce que ces coûts intégrés subissent des modifications, étant donné que le niveau d'adaptation lui-même change selon l'ampleur et la vitesse du réchauffement planétaire.

Les coûts d'adaptation au climat actuel sont évalués à plus de 11,6 milliards de dollars (tableau 1.1). Ce chiffre a été obtenu dans le cadre d'une étude réalisée à l'échelle nationale sur les dépenses courantes, à la lumière de documents publiés et d'avis d'experts. La plupart des chiffres ont été tirés de travaux effectués au début de la décennie et pourraient, dans certains cas, être grandement en deçà des coûts de 1997. Ainsi le coût de la lutte contre les inondations, par exemple, a été calculé à partir des dépenses effectuées au cours de l'exercice financier 1992-1993, c'est-à-dire avant les nombreuses « inondations du siècle » survenues au Canada (p. ex., dans le sud de l'Alberta en juin 1995, au Saguenay en juillet 1996, et celle de la rivière Rouge en mai 1997). Les résultats de cette étude ont été compilés dans le tableau 1.1, qui présente les chiffres pour neuf grands secteurs, le coût total, le pourcentage lié à l'adaptation au climat, des estimations du coût de cette adaptation et la tendance possible découlant du changement climatique. Les coûts énergétiques sont inclus dans les secteurs pertinents, tandis que certains coûts d'adaptation ont été omis (p. ex., pour les soins de santé). Les coûts d'adaptation doivent être abordés avec précaution, bien que les auteurs s'attendent à ce que les coûts d'adaptation globaux soient plus élevés que ceux présentés. Il est difficile de fournir une mesure globale de la variation des coûts d'adaptation au climat actuel liée aux futures conditions climatiques, mais on peut effectuer des estimations relativement sûres des tendances pour certains secteurs en particulier. Les coûts d'adaptation se rattachant à l'agriculture, à la foresterie, à l'eau, à la

planification d'urgence et à l'information météorologique devraient augmenter, alors que ceux liés au transport et surtout ceux associés aux dépenses ménagères devraient diminuer.

Bien que ces chiffres offrent un aperçu utile des coûts d'adaptation, la dimension économique des coûts résiduels demeure incomplète au plan tant des dommages actuels que des coûts liés au changement climatique. En dépit des meilleurs projets d'adaptation faisant appel à des mécanismes de résilience et de prévention, les coûts résiduels pourraient être considérables, particulièrement en ce qui touche la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. De 1984 à 1994, l'industrie canadienne de l'assurance a déboursé plus d'un milliard de dollars pour des pertes survenues lors de grandes catastrophes naturelles (orages, tornades, grêle, tempêtes de vent et inondations) touchant des maisons, des entreprises et des véhicules, et il semble que ce chiffre aille en augmentant (Brun, 1997). Les coûts totaux pour le Canada, y compris les frais et dommages non assurés relatifs à des biens publics, correspondraient à plus du double des coûts d'assurance engagés. Par ailleurs, ce chiffre ne tient pas compte des coûts relatifs à des phénomènes de moindre envergure, ce qui donne lieu de croire que les coûts réels sont en fait beaucoup plus élevés.

Secteur	Coût global (en million \$)	% relatif à l'adaptation au climat	Coût de l'adaptation au climat (en million \$)	Tendance possible avec un changement climatique
Transport :	7 367,5		1 657,3	baisse
Aérien	83,5	100	83,5	baisse
Maritime	258,8	55	143,8	baisse
Ferroviaire	702,0	29	203,2	incertaine
Routier	6 323,1	19	1 226,5	baisse
Construction	2 000,0	100	2 000,0	incertaine
Agriculture	1 887,3	70	1 329,6	hausse
Foresterie	556,3	72	402,6	hausse
Eau :	1 058,0	73	767,3	hausse
Lutte contre les inondations	4,7	80	3,8	
Dépenses ménagères	6 023,0	88	5 296,4	baisse
Planification d'urgence	14,4	75	10,8	hausse
Information météorologique	189,4	100	189,4	hausse
TOTAL	19 095,9	61	11 653,0,4	

Source : d'après Herbert et Burton, 1994

Au cours de la présente décennie, avant l'inondation de la rivière Rouge en 1997 et la tempête de verglas de 1998, le plus coûteux des fléaux météorologiques fut la tempête de grêle de Calgary en 1991, avec un total de 450 millions de dollars en pertes de nature économique, parmi lesquelles 360 millions de dollars ont été assumés par les sociétés d'assurance. Plus tard, en juillet 1996, 295 millions de dollars en prestations d'assurance étaient versés pour des dommages importants causés par la grêle à Calgary et à Winnipeg. Au même moment, des précipitations excessives causaient également des dommages considérables dans la région du Saguenay, l'inondation de juillet 1996 coûtant, selon les estimations, entre 1 et 1,5 milliard de dollars, dont seulement de 350 à 400 millions de dollars étaient des coûts assurés. À l'opposé, le manque de précipitations a entraîné des coûts négatifs élevés. La grande sécheresse de 1988 dans les Prairies a coûté 1,4 milliard en prestations d'assurance et en subventions de l'État. Et il ne s'agit là que de quelques exemples, bien qu'exceptionnels, des coûts résiduels associés aux phénomènes extrêmes, et il est fort probable que ces coûts iront en augmentant en présence d'un changement climatique.

Bien que ces chiffres puissent laisser croire que les Canadiens ne sont pas suffisamment préparés à faire face aux phénomènes extrêmes causant de grandes catastrophes, le récent débordement de la rivière Rouge offre des perspectives à la fois inquiétantes et encourageantes. Bien que les coûts liés à l'inondation restent à déterminer et que l'on s'attende à une facture élevée, ces coûts auraient pu être beaucoup plus considérables en l'absence de mesures d'adaptation. Ces formes d'adaptation étaient une combinaison de mesures prises de longue date et de mesures d'intervention, soit plus particulièrement un canal de crue construit entre 1963 et 1967 autour de Winnipeg et la construction rapide, à Brunkild, d'une digue de 40 kilomètres de longueur. Les 50 millions investis dans la construction du canal de crue ont sans l'ombre d'un doute été rentabilisés plusieurs fois, si l'on tient compte que ce canal a protégé la ville de Winnipeg d'au moins trois fortes inondations. Toutefois, malgré les efforts héroïques déployés par de nombreux bénévoles et malgré la construction massive d'infrastructures de protection, on s'attend à ce que les coûts de l'inondation soient saisissants, ce qui ne pourrait laisser d'autre choix que de prendre encore davantage de mesures draconiennes de prévention, si ce n'est d'envisager sérieusement une réaffectation ou un réaménagement des terres. De pareilles mesures pourraient également s'avérer nécessaires dans d'autres régions vulnérables au changement climatique et à l'élévation du niveau de la mer, en particulier. Par exemple, l'on s'attend à ce que la réfection des digues qui protègent les citoyens de Richmond, en Colombie-Britannique, coûte des centaines de millions de dollars.

Bien sûr, les mesures d'adaptation ne sont pas toutes aussi coûteuses que celles reliées aux phénomènes extrêmes. Une planification soignée et proactive, spécialement pour les infrastructures de durée de vie relativement longue (p. ex., 100 ans), est à la fois rentable et sensée. Les responsables de la planification de la municipalité de Milton ont recommandé un investissement supplémentaire de 7 à 10 millions de dollars pour l'élargissement d'un pipeline d'eau projeté afin de pallier les pénuries d'eau susceptibles d'accompagner le changement climatique. Ce montant représente de 10 à 15 % de plus que le coût de base, mais il demeure toutefois minime par rapport aux dépenses qu'il faudrait engager si ces travaux devaient être effectués ultérieurement. Dans le même ordre d'idées, on a haussé le pont du détroit de Northumberland terminé récemment, en prévision d'une éventuelle élévation d'un mètre du niveau de la mer, due au réchauffement planétaire, au cours de sa durée de vie (100 ans) (Projet de

raccordement dans le détroit de Northumberland). Les coûts associés à cette hausse d'un mètre (c.-à-d. faire passer de 46 à 47 mètres la hauteur de la travée principale) sont minimes en comparaison des coûts totaux du pont et des coûts futurs pour lutter contre les impacts d'une élévation du niveau de la mer par d'autres moyens.

Richard Tol - Estimations des coûts d'un changement climatique au Canada - Année de référence: 1988

Parmi les études discutées précédemment et traitant des coûts occasionnés par un changement climatique dans le cas d'un doublement de la concentration atmosphérique de CO₂, seul Tol (1995) a tenu spécifiquement compte du Canada et il l'a jumelé aux États-Unis. La plupart du temps, il a simplement extrapolé les statistiques canadiennes à l'échelle des États-Unis pour obtenir un total américain pour l'OCDE (Tol, 1997). Il estime qu'une concentration atmosphérique de CO₂ à l'équilibre double des niveaux préindustriels, ce qui implique un réchauffement de 2,5 °C et une élévation du niveau de la mer de 50 cm, ferait baisser de 1,5 % le PIB du Canada et des États-Unis en 1988.

Une réduction du PIB canadien de 1,5 % en 1988 équivaut à une perte de 8,3 milliards en dollars canadiens de 1986 (tableau 1.2). Ces chiffres varient selon la catégorie, la morbidité et la mortalité humaine comptant pour près de la moitié de tous les dommages⁴. Dans les catégories examinées par Tol, seule la protection côtière, au coût de 0,167 milliard de dollars, constitue une mesure d'adaptation proprement dite.

Robert Mendelsohn *et al.* - Estimations des répercussions d'un changement climatique sur l'économie canadienne - Année de référence : 1990

Mendelsohn *et al.* (en cours de préparation) ont élaboré deux séries d'équations, fondées sur des études américaines (à l'exception du secteur touristique), qui associent une valeur marchande aux niveaux moyens des précipitations et des températures et à d'autres facteurs, comme la concentration de CO₂ dans l'atmosphère, la longueur du littoral et la superficie du territoire. Les secteurs étudiés sont l'agriculture, la foresterie, les ressources côtières, l'énergie, l'eau et le tourisme. En faisant varier les paramètres climatiques, on peut calculer les répercussions d'un changement climatique sur chaque secteur. Ces équations reposent sur une série d'études sous-jacentes effectuées par Mendelsohn et Neumann (à paraître).

⁴ Tol (1995) attribue une valeur de 250 000 \$ US à une vie statistique plus 175 fois le revenu moyen, ce qui situe une vie canadienne à environ 3,5 millions \$ US.

Tableau 1.2 Estimations des coûts d'un doublement de la concentration de CO₂ pour la société canadienne de 1988
(réchauffement de 2,5 °C, élévation de 50 cm du niveau de la mer)

	Données brutes pour les É.-U. et le Canada (Tol, 1995)		Données pour le Canada selon une égale répartition des dommages entre les secteurs de deux pays (PIB total de CANSIM)
Catégorie	En milliards de \$ US	Pourcentage de l'ensemble des dommages	En milliards de \$ CAN de 1988
Défense côtière	1,5	2,0 %	0,167
Pertes de terres sèches	2,0	2,7 %	0,223
Pertes de milieux humides	5,0	6,7 %	0,557
Pertes d'espèces	5,0	6,7 %	0,557
Agriculture	10,0	13,4 %	1,113
Jouissance de la vie	12,0	16,1 %	1,336
Vie humaine	37,7	50,6 %	4,197
Migration	1,0	1,3 %	0,111
Risques naturels	0,3	0,4 %	0,033
Incidence sur les secteurs de l'assurance, de la construction, du transport et de l'approvisionnement en énergie			omis
Dommages résultants de tempêtes extra-tropicales, d'inondations, de vagues de froid /de chaleur et autres catastrophes			omis
Autres dommages aux écosystèmes			omis
Autres répercussions sur les humains, incluant la morbidité, le bien-être physique, la stabilité politique, et la misère humaine			omis
TOTAL	74,5	100 %	8,294
% du PIB	1,5		
Plusieurs catégories, p. ex., la protection côtière, les terres sèches, les milieux humides, l'agriculture, tiennent compte des dommages résiduels dans les coûts d'adaptation. Catégories étudiées ailleurs mais omises par Tol - foresterie, énergie, eau, autres secteurs, pollution atmosphérique, pollution de l'eau. Vie statistique - la volonté personnelle de collaboration aux coûts d'une réduction des risques (Pearce, 1997, p.3), est estimée à 250 000 \$ plus 175 fois le revenu par habitant (Tol, 1996). Les coûts relatifs à la migration rendent compte des coûts d'intégration des immigrants au système de sécurité sociale (Pearce <i>et al.</i> , 1996).			

Un examen plus approfondi de ces études soulève un certain nombre de questions préoccupantes sur les conclusions optimistes auxquelles arrivent les auteurs, notamment, les présomptions optimistes quant aux avantages pour les secteurs agricole et forestier d'une fertilisation par le CO₂, le fait que l'on ne tienne pas compte d'un grand nombre de coûts d'adaptation et le fait que seules les répercussions mesurables sur le marché pour un sous-ensemble de secteurs économiques ont été prises en compte. En outre, il importe de s'interroger sur la capacité à évaluer les coûts d'adaptation et les impacts résiduels en n'utilisant que des valeurs moyennes annuelles de températures et de précipitations uniques pour l'ensemble du pays. Des problèmes se posent également quant à l'application de ces résultats à d'autres pays. Plus particulièrement, les structures biologiques, sociales et économiques diffèrent grandement et, pour un certain nombre d'entre eux, les valeurs de température et de précipitations peuvent se trouver hors de la plage sur laquelle sont estimées les équations. Dans le cas du Canada, une omission des points de données situés au-dessus de 65° de latitude nord, du fait que les activités économiques y seraient minimales, complique la situation.

En dépit de ces mises en garde, il est utile d'examiner les estimations résultant de ces équations pour le Canada puisque les totaux, lorsqu'il ne s'agit tout simplement pas d'estimations sectorielles, ont été étudiés par d'autres (Kloppel, 1997; Mendelsohn *et al.*, en préparation). Au Canada, un réchauffement de 2,5 °C d'ici 2060 devrait se traduire par des avantages importants, en particulier dans les secteurs agricole et forestier.

LES EFFETS DES IMPACTS EXTRA-TERRITORIAUX D'UN CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE CANADA

Le présent rapport a jusqu'ici surtout traité du coût des répercussions éventuelles d'un changement climatique au Canada et des mesures d'adaptation connexes. Mais le Canada est membre de la grande famille des nations et les Canadiens partagent des intérêts et des liens avec d'autres peuples et contrées du globe; il faut donc envisager les impacts du changement climatique ailleurs sur la planète. La présente section porte sur un certain nombre de ces impacts.

Relations internationales

Le changement climatique à venir influera de différentes façons sur les relations du Canada avec l'étranger. Si, comme la plupart le prédisent, les pays en développement seront les plus touchés par le changement climatique anthropique, principalement causé par des émissions antérieures de CO₂ et autres gaz à effet de serre provenant des pays développés, il y aura probablement un accroissement des tensions entre pays développés et pays en développement.

Le changement climatique occasionnera également de nouvelles sources de tension entre le Canada et les États-Unis. Une hausse des températures aggravera les problèmes de pollution atmosphérique internationale, surtout dans le sud de l'Ontario qui souffre déjà de recevoir la pollution du Midwest américain. La gestion des eaux frontalières sera également touchée. Advenant une sécheresse à long terme sur le centre des États-Unis, comme le laissent présager nombre de MCG, le Canada peut s'attendre à faire face à des pressions accrues de la part de pays concernant la dérivation vers le sud des eaux, dont le statut demeure imprécis dans

l'ALÉNA. La fonte des glaces de mer dans le passage du Nord-Ouest pourrait rendre cette voie navigable. Bien que le Canada affirme depuis longtemps que le passage du Nord-Ouest est une voie maritime interne, les États-Unis n'ont jamais reconnu ce fait.

La gestion des ressources communes internationales est aussi une question pouvant être touchée par le changement climatique. Par exemple, la productivité du saumon du Pacifique est intimement liée aux régimes climatiques et océaniques dans le Pacifique Nord (Mantua *et al.*, 1997). Dans le passé, des changements de ces régimes ont provoqué des baisses spectaculaires de prises et occasionné des conflits entre les divers intervenants, en plus de nuire aux efforts internationaux visant la gestion durable de cette ressource. Par ailleurs, parce que les voies migratoires sont extrêmement sensibles à la température de l'océan, le changement et la variabilité climatiques jouent un rôle stratégique dans les négociations canado-américaines concernant le saumon. Lorsque l'océan atteint une température qui incite le saumon à retourner dans sa frayère par le détroit Juan de Fuca, les négociateurs américains ont l'avantage, car les flottilles de pêche américaines sont les premières à pouvoir capturer les poissons et sont capables de les retenir pour forcer le Canada à faire des concessions. À l'opposé, lorsque le climat incite le saumon à retourner dans sa frayère par le détroit de Georgie, les saumons en direction des eaux canadiennes sont moins vulnérables à la surpêche des navires américains.

Sécurité de l'environnement

Comme nous l'avons expliqué préalablement, le changement climatique peut envenimer les conflits régionaux à propos de ressources naturelles raréfiées. Si l'on se fie au passé, il s'agira de conflits internes et ethniques, comme en Bosnie et au Rwanda, plutôt que de grands conflits internationaux entre armées organisées d'États-nations, comme dans le cas de la guerre du Golfe. Ces conflits chroniques d'échelle restreinte toucheront le Canada et les Canadiens de plusieurs façons : premièrement, en faisant du monde un endroit plus dangereux; deuxièmement, en débordant des frontières au moyen d'actes de terrorisme international; troisièmement, en dégénéralant en conflits plus graves; quatrièmement, en augmentant les demandes de participation du Canada au maintien de la paix et aux missions diplomatiques; et, cinquièmement, en aggravant le problème que présentent les réfugiés internes et internationaux (Homer-Dixon, 1991; 1994).

Réfugiés de l'environnement

Comme le souligne le GT II du GIEC (Aguilar *et al.*, 1996), certaines des plus radicales répercussions du changement climatique sur l'homme sont probablement les migrations, lorsque des populations, en particulier celles de pays en développement, sont chassées de leurs habitats à cause de l'érosion du littoral, d'inondations côtières ou de perturbations agricoles. La plupart de ces migrations, qu'elles soient attribuables ou non à l'environnement, se font à l'intérieur du territoire national. Toutefois, avec la mondialisation de l'économie, les personnes déplacées se tournent de plus en plus vers l'étranger (Hugo, 1996). Par conséquent, les réfugiés de l'environnement peuvent devenir une source croissante de tensions internationales ou internes. Il existe déjà un ressac xénophobe à l'égard des immigrants dans de nombreux pays hôtes, qu'il s'agisse de pays développés ou de pays en développement. Cela pourrait bien être le cas au Canada également. Un grand nombre des régions qui seront les plus gravement touchées, comme

les petits États insulaires des Antilles et la région du delta de la province de Guangdong, en Chine, sont des pays avec qui le gouvernement et les citoyens du Canada ont des liens historiques. Le Canada peut s'attendre à une augmentation des pressions concernant l'immigration en provenance de ces régions. Dans le cas du Mexique, un autre pays qui devrait être fortement touché, selon la plupart des scénarios futurs de changement climatique (Liverman, 1992), l'immigration illégale deviendra probablement une source de conflits dans les relations entre les signataires de l'ALÉNA.

Il existe peu de données sur le nombre éventuel de réfugiés écologiques vers le Canada et sur les coûts liés à ces migrations. Myers (1993, p.757) estime que près de 150 millions de personnes pourraient être déplacées au cours du prochain siècle en raison du changement climatique. Bien qu'on pourrait contester cette estimation, il ne fait aucun doute que le problème sera de taille, la communauté internationale ayant déjà beaucoup à faire avec le nombre actuel de personnes déplacées. Même si certains des coûts directs des dépenses gouvernementales en services d'immigration sont compris dans ces chiffres, les estimations demeurent extrêmement prudentes. Elles ne tiennent pas compte des coûts liés à la misère humaine et à la désorganisation des pays sources, non plus que des impacts secondaires de l'immigration sur les marchés du travail, lorsque le taux de chômage dépasse 10 % et que les salaires réels stagnent ou déclinent depuis 20 ans ou plus.

Situation du commerce international

L'incidence du changement climatique sur les prix mondiaux et sur l'offre et la demande touchera tout autant le Canada que ses impacts de premier et de deuxième ordre. Presque tous les travaux sur la question du climat et du commerce international sont axés sur le commerce agricole. Un certain nombre de modèles laissent présager que la situation du Canada sur le marché mondial à titre de grand exportateur agricole s'améliorera (Reilly *et al.*, 1994; Rosenzweig et Parry, 1994), parce que le changement climatique devrait améliorer le rendement agricole global du Canada et que les producteurs canadiens se tireront mieux de la situation que leurs concurrents, comme ceux des Grandes Plaines américaines. Toutes ces sorties de modèles sont toutefois largement fonction des hypothèses posées en matière de niveaux d'adaptation, dont les coûts ne sont généralement pas pris en compte, et des impacts de la fertilisation par le CO₂. Les répercussions possibles du changement climatique sur les autres secteurs du commerce international sont très peu connus.

CONCLUSIONS ET PROCHAINES ÉTAPES

À ce jour, on ne peut guère se prononcer catégoriquement sur les coûts d'adaptation au changement climatique et des impacts résiduels connexes pour le Canada. Selon des estimations s'appuyant sur des études effectuées principalement aux États-Unis, les répercussions d'un changement climatique à l'équilibre découlant de concentrations de CO₂ deux fois plus élevées, dans une économie et une population semblables à celles d'aujourd'hui, seraient de l'ordre de 1 à 2 % du PIB, soit de 8 à 16 milliards de dollars⁵. D'autres études récentes indiquent que les coûts pourraient être plus bas et que le Canada pourrait, dans l'ensemble, profiter du changement

⁵ Le PIB du Canada en 1995 était de 776 milliards \$ en dollars courants selon CANSIM.

climatique. Toutefois, des considérations tout aussi valables suggèrent que les coûts pourraient être considérablement plus élevés que ceux précédemment estimés.

La prochaine étape pourrait être d'élaborer une véritable estimation de référence des coûts d'adaptation et des impacts résiduels liés au changement climatique pour le Canada. Cette tâche pourrait être une composante importante de la prochaine étape de l'ÉPC, et s'appuyer sur des travaux antérieurs comme l'Étude d'impact sur le bassin du MacKenzie et l'Étude concernant le bassin du Saint-Laurent et des Grands Lacs. Cependant, ce que nous souhaitons réellement obtenir n'est pas seulement un meilleur modèle de référence, spécialement pour le Canada de 1988 ou de 1998, mais plutôt une certaine idée des coûts d'adaptation et des impacts résiduels dans le temps, ce qui se résume essentiellement à estimer un profil temporel des coûts marginaux résultant des émissions de CO₂. Il ne s'agit certes pas d'un exercice facile, mais plusieurs chercheurs se sont déjà mis à la tâche (Fankhauser et Tol, 1996; Tol, 1996a).

Nous ne devons pas sous-estimer les difficultés entourant la réalisation de l'une ou l'autre de ces options, pas plus que nous ne devons en sous-estimer les coûts. Robert Mendelsohn, au cours d'une discussion sur la réalisation de l'étude mentionnée précédemment pour les États-Unis (Mendelsohn et Neumann, à paraître), a affirmé que réaliser convenablement une étude semblable pour le Canada coûterait environ de 500 000 à 1 000 000 \$. Et, de rappeler M. Mendelsohn, l'étude américaine portait uniquement sur les répercussions commerciales dans un nombre limité de secteurs de l'économie.

RÉFÉRENCES

Aguilar, A. G., Douglas, I., Epstein, P.R., Liverman, D., Mailu, G.M. et E. Shove (1996). Human Settlements in a Changing Climate: Impacts and Adaptation. *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. R. T. Watson, M. C. Zinyowera, R. H. Moss and D. J. Dokken. Cambridge, Cambridge University Press, p. 399-426.

Andrey, J., Hachey, B., Koshida, G., Mills, B. et L., Mortsch (1996). Project Organization: Management, Research and Communication Frameworks. *Great Lakes - St. Lawrence Basin Project Progress Report #1: Adapting to the Impacts of Climate Change and Variability*. L. Mortsch et B. Mills. Downsview, ON, Environmental Adaptation Research Group, Environnement Canada, p. 6-59.

Arrow, K. J., Cline, W.R., Maler, K.-G., Munasinghe, M., Squitieri, R. et J.E., Stiglitz (1996). Intertemporal Equity, Discounting, and Economic Efficiency. *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*. J. P. Bruce, H. Lee and E. F. Haites. New York, Cambridge University Press, p. 125-144.

Ayres, R. U. et W. Jörg (1991). "The Greenhouse Effect: Damages, Costs and Abatement." *Environmental and Resource Economics* 1, p. 237-270.

Banuri, T., Gran-Mler, K., Grubb, M., Jacobson, H.K. et F., Yamin (1996). Equity and Social Considerations. *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*. J. P. Bruce, H. Lee and E. F. Haites. New York, Cambridge University Press, p. 79-124.

Bein, P. and D. Rintoul (1996). Precautionary Shadow Price of Greenhouse Gases under Business as Usual Scenario. Victoria, BC, British Columbia Ministry of Transportation and Highways, 23 p.

Broome, J. (1992). *Counting the Costs of Global Warming*. Cambridge, The White Horse Press, 147 p.

Brun, S. E. (1997). Atmospheric, Hydrologic and Geophysical Hazards. *Coping with Natural Hazards in Canada: Scientific, Government and Insurance Industry Perspectives*. S. E. Brun, D. Gesink, L. Wallace, D. Etkin and R. White. Toronto, Round Table on Environmental Risk, Natural Hazards and the Insurance Industry, p. 15-65.

Burton, I., Kates, R.W., and G., White (1993). *The Environment as Hazard*. New York, Guilford Press, 399 p.

Clark, C. W. (1973). "The Economics of Overexploitation." *Science* 181, p. 630-634.

Cline, W. R. (1992). *The Economics of Global Warming*. Washington, DC, Institute for International Economics, 399 p.

Commission mondiale sur l'environnement et le développement : Notre avenir à tous (1988). Les Éditions du fleuve, Montréal, Québec, 459 p.

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neil, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. et M., van den Belt (1997). The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital." *Nature* 387, p. 253-259.

Demeritt, D. et D.S., Rothman (à paraître). Comments on J.B.Smith (Climatic Change 32, p. 313-26) and the Aggregation of Climate Change Damage Costs. *Climatic Change*.

Fankhauser, S. (1994a). "The Economic Costs of Global Warming Damage: A Survey." *Global Environmental Change* 4(4), p. 301-309.

Fankhauser, S. (1994b). "The Social Costs of Greenhouse Gas Emissions: An Expected Value Approach." *The Energy Journal* 15(2), p. 157-184.

Fankhauser, S. (1995). *Valuing Climate Change: The Economics of the Greenhouse*. London, Earthscan Publications Limited, 180 p.

Fankhauser, S. et R. S. J. Tol (1996). "Climate Change Costs: Recent Advancements in the Economic Assessment." *Energy Policy* 24(7), p. 665-673.

Fankhauser, S., Tol, R.S.J. et D., Pearce (1996). Equity and the Aggregation of Climate Change Damages. East Anglia, UK, Centre for Social and Economic Research on the Global Environment, 24 p.

Freeman III, A. M. (1993). *The Measurement of Environmental and Resource Values*. Washington, DC, Resources for the Future, 516 p.

Grubb, M. (1995). "Seeking Fair Weather: Ethics and the International Debate on Climate Change." *International Affairs* 71(3), p. 463-49.

Herbert, D. et I. Burton (1994). *Estimated Costs of Adaptation to Canada's Current Climate and Trends Under Climate Change*. Downsview, ON, Environmental Adaptation Research Group, Environnement Canada, 19 p.

Homer-Dixon, T. F. (1991). "On the Threshold: Environmental Changes as Causes of Acute Conflict." *International Security* 16, p. 76-116.

Homer-Dixon, T. F. (1994). "Environmental and Demographic Threats to Canadian Security." *Canadian Foreign Policy* 2, p. 7-40.

Howarth, R. B. et P. A. Monahan (1992). Economics, Ethics, and Climate Policy. Berkeley, CA, Energy & Environment Division, Lawrence Berkeley Laboratory, p. 111-138.

Howarth, R. B. et R. B. Norgaard (1995). Intergenerational Choices under Global Environmental Change. *Handbook of Environmental Economics*. D. W. Bromley. Cambridge, MA, Basil Blackwell Ltd., p. 111-138.

Hugo, G. (1996). "Environmental Concerns and International Migration." *International Migration Review* 30(1), p. 105-131.

Irland, L. C. (1996). Land, Timber, and Recreation in Maine's Northwoods. Orono, ME, University of Maine Agricultural Experiment Station, 80 p.

Khanna, N. et D. Chapman (1996). "Time Preference, Abatement Costs, and International Climate Policy: An Appraisal of IPCC 1995." *Contemporary Economic Policy* XIV(2), p. 56-66.

Kloeppe, J. E. (1997). Climate Shift Would Aid Industrial Nations, Hurt Less-Developed Ones. University of Illinois at Urbana-Champaign, University of Illinois News Bureau. 1 p.

Liverman, D. (1992). The Regional Impact of Global Warming in Mexico: Uncertainty, Vulnerability, and Response. *The Regions and Global Warming: Impacts and Response Strategies*. J. Schmandt and J. Clarkson. Oxford, Oxford University Press, p. 44-68.

Mantua, N. J., Hare, S.R., Zhang, Y., Wallace, J.M. et R.C. Francis (1996). A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. Seattle, Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Oceans, University of Washington, p. 44-68.

Mendelsohn, R., Morrison, W., Schlesinger, M.E. and N.A., Androinova (in preparation). "Country-Specific Market Impacts of Climate Change".

Mendelsohn, R. et J. Neumann, Eds. (forthcoming). *The Impacts of Climate Change on the American Economy*. Cambridge, Cambridge University Press.

Munasinghe, M., Meier, P., Hoel, M., Hong, S.W. et A. Aaheim (1996). Applicability of Techniques of Cost-Benefit Analysis to Climate Change. *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*. J. P. Bruce, H. Lee and E. F. Haites. New York, Cambridge University Press, p. 145-177.

Myers, N. (1993). "Environmental Refugees in a Globally Warmed World." *BioScience* 43(11), p. 752-761.

National Academy of Sciences Committee on Science, Engineering and and Public Policy (1991). *Policy Implications of Greenhouse Warming: Report of the Adaptation Panel, Panel on Policy implications of Greenhouse Warming*. Washington, DC, National Academy Press, 148 p.

Nordhaus, W. D. (1991). "To Slow or Not to Slow: The Economics of the Greenhouse Effect." *The Economic Journal* 101(407), p. 920-937.

Nordhaus, W. D. (1994). "Expert Opinion on Climate Change." *American Scientist* 82(1), p. 45-51.

Nordhaus, W. D. (1994). *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*. Cambridge, The MIT Press, 213 p.

Pearce, D. (1997). "Economists and Climate Change." *Environment and Planning A* 29(1), p. 1-4.

Pearce, D. W. (1996). "Climate Confusion." *Environment & Planning A* 28, p. 8-10.

Pearce, D. W., G. Atkinson, et al. (1994). "The Economics of Sustainable Development." *Annual Review of Energy* 19, p. 457-474.

Pearce, D. W., Cline, W.R., Achanta, A.N., Fankhauser, S., Pachauri, R.K., Tol, S.R.J. et P. Vellinga (1996). The Social Costs of Climate Change: Greenhouse Damage and the Benefits of Control. *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*. J. P. Bruce, H. Lee and E. F. Haites. New York, Cambridge University Press, p. 179-224.

Reilly, J., N. Hohmann, et al. (1994). "Climate Change and Agricultural Trade: Who Benefits, Who Loses?" *Global Environmental Change* 4, p. 24-36.

Rosenzweig, C. et M. L. Parry (1994). "Potential Impact of Climate Change on World Food Supply." *Nature* 367, p. 133-138.

Smit, B. (1993). *Adaptation to Climatic Variability and Change: Report of the Task Force on Climate Adaptation*. Gueph, ON, University of Guelph, Department of Geography.

Smit, B., D., McNabb, J., Smithers, E., Swanson, R., Blain et P. Keddie (1996). Farming Adaptations to Climatic Variation. *Great Lakes - St. Lawrence Basin Project Progress Report #1: Adapting to the Impacts of Climate Change and Variability*. L. Mortsch and B. Mills. Downsview, ON, Environmental Adaptation Research Group, Environnement Canada, p. 125-136.

Smith, J. B. (1996). "Standardized Estimates of Climate Change Damages for the United States." *Climatic Change* 32(3), p. 313-326.

Smith, J. B. et D. Tirpak, Eds. (1989). *The Potential Effects of Global Climate Change on the United States*. Washington, DC, United States Environmental Protection Agency, Office of Policy, Planning and Evaluation, Office of Research and Development, 689 p.

Titus, J. G. (1992). The Costs of Climate Change to the United States. *Global Climate Change: Implications, Challenges and Mitigation Measures*. S. K. Mjumdar, L. S. Kalkstein, B. M. Yarnal, E. W. Miller and L. M. Rosenfield. Easton, PA, The Pennsylvania Academy of Science Publications, p. 384-409.

Tol, R. S. J. (1994). "The Damage Costs of Climate Change: A Note on Tangibles and Intangibles, Applied to DICE." *Energy Policy* 22(5), p. 436-438.

Tol, R. S. J. (1995). "The Damage Costs of Climate Change: Toward More Comprehensive Calculations." *Environmental and Resource Economics* 5(4), p. 353-374.

Tol, R. S. J. (1996). "The Damage Costs of Climate Change Towards a Dynamic Representation." *Ecological Economics* 19(1), p. 67-90.

Tol, R. S. J. (1996). A Decision-Analytic Treatise of the Enhanced Greenhouse Effect. *Institute for Environmental Studies*. Amsterdam, Vrije Universiteit, 263 p.

Tol, R. S. J. (1997). Communication personnelle.

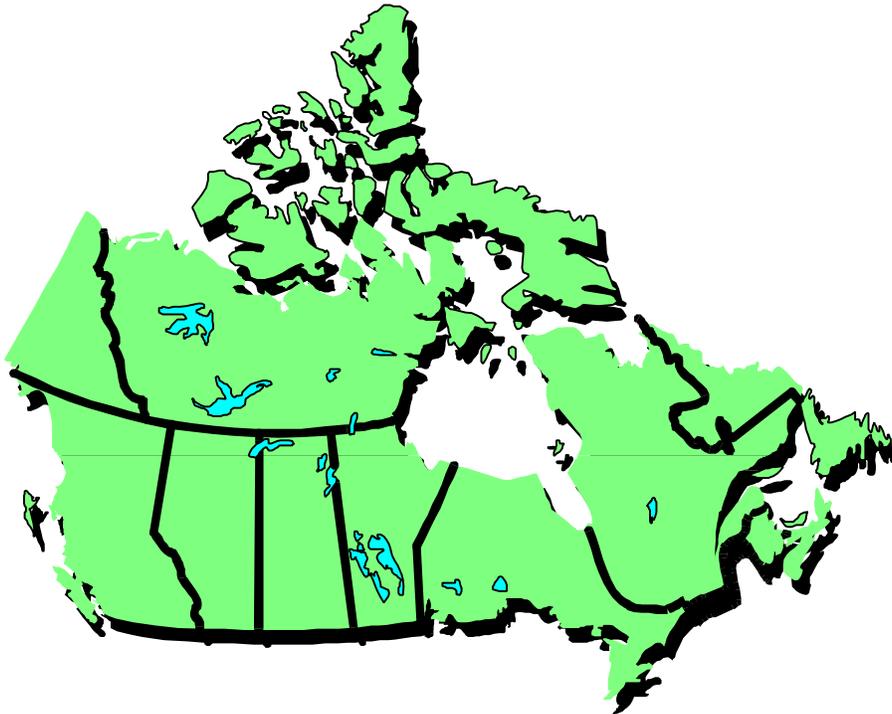
Vatn, A. et D. W. Bromley (1995). Choices without Prices without Apologies. *Handbook of Environmental Economics*. D. W. Bromley. Cambridge, MA, Basil Blackwell Ltd., p. 3-25.

Watson, R. T., Zinyowera, M.C., Eds. (1996). *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analysis*. Cambridge, Cambridge University Press, 879 p.

CHAPITRE DEUX

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET PHÉNOMÈNES EXTRÊMES AU CANADA

David Etkin¹



1. Groupe de recherche en adaptation environnementale, Institut pour l'étude de l'environnement, Université de Toronto, 33 rue Willcocks, Bureau 1016, Toronto, Ontario M5S 3E8. Téléphone : (416) 978-6310, télécopieur : (416) 978-3884, courriel : david.etkin@ec.gc.ca

RÉSUMÉ ET RECOMMANDATIONS

À mesure que le climat du Canada change en raison de l'intensification de l'effet de serre, la fréquence de certains événements extrêmes risque aussi de changer. Les vagues de chaleur seront plus fréquentes, et les coups de froid s'espaceront. La fréquence des sécheresses, de la grêle, des tornades et des pluies abondantes augmentera probablement aussi dans certaines régions du pays. On ne sait pas exactement dans quelle mesure la fréquence des fortes tempêtes d'échelle synoptique ou moyenne changera, ni même si elle changera. Plus précisément, on n'a pas d'indication que les ouragans seront plus fréquents. Ces changements surviendront de façon inégale selon les régions et la grande superficie du Canada laisse prévoir des réactions différentes. Par exemple, ces dix à quinze dernières années, on a constaté un réchauffement des printemps et des hivers plus marqué, ainsi que de plus grandes variances des températures quotidiennes maximales pendant des étés plus chauds, dans l'ouest du Canada que dans l'est.

Notre réaction d'adaptation aux situations extrêmes repose sur diverses hypothèses, notamment :

- Quelles sont les chances que ces situations surviendront à l'avenir?
- Quels seront les avantages de vivre dans des régions à risque comme les plaines inondables?
- Qu'est-ce qui constitue un degré de risque acceptable?

Certaines de ces hypothèses sont actuellement remises en question, non seulement en raison de notre compréhension des changements mondiaux, mais aussi selon les conditions actuelles, à la lumière des coûts récemment infligés par des phénomènes hydrométéorologiques extrêmes comme les sécheresses, les inondations et les tempêtes de grêle et de pluie verglaçante.

Les implications du changement climatique sont importantes si l'on se fie aux coûts socio-économiques de ce genre de phénomènes au Canada. Il est probable que les événements extrêmes au Canada seront coûteux dans le futur, nécessitant un plus grand engagement envers l'adaptation pour en minimiser les impacts.

Nous faisons les recommandations suivantes :

- Élaborer et tenir à jour des bases de données sur les coûts des risques naturels et l'adaptation à ceux-ci.
- Élaborer des scénarios de changement climatique à partir d'études de cas et en supposant que la période de retour de ces épisodes diminue considérablement.
- Effectuer des recherches en sciences sociales sur la façon dont les Canadiens perçoivent les risques liés aux catastrophes naturelles et au changement climatique, afin de mieux comprendre comment sont prises les décisions relatives à l'adaptation.

INTRODUCTION

Il y a une différence entre les risques naturels et les catastrophes naturelles. Le risque naturel est un phénomène extrême quelconque (p. ex. vents forts, pluies abondantes, etc.), alors que la catastrophe découle de la vulnérabilité de la société exposée à ce phénomène. Par exemple, une tornade est un risque naturel. Une tornade catastrophique survient lorsqu'une grave tornade

détruit une partie d'une ville, entraînant d'importantes pertes de vies et de biens, que la collectivité touchée ne peut surmonter sans une aide extérieure.

En un sens, affronter les risques naturels est comme un jeu (le « jeu des risques naturels »). Une fois que vous connaissez les règles, vous pouvez prévoir une stratégie gagnante. Si l'on connaît assez bien la probabilité d'un événement bénéfique ou grave, on peut en calculer les conséquences assez facilement.

Cependant, si après avoir joué au jeu des risques naturels pendant un certain temps on se rendait compte que les règles allaient changer, sans savoir exactement quand et dans quelle mesure? Pis encore, si les nouveaux règlements n'étaient pas constants mais changeaient au fil du temps, et si le manque de planification entraînait un échec? Ce sont là les conséquences du changement climatique sur le jeu des risques naturels.

La société n'est toutefois pas un simple joueur passif; elle participe activement à la définition des règles. La présente section vise à examiner ce que nous savons de la façon dont le changement climatique modifiera le jeu des risques naturels, à étudier le rôle de la société dans la définition des règles et à examiner certaines des impacts au Canada.

LE RISQUE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Quel est le risque du changement climatique?

Imaginons le climat comme une fonction de probabilité, ou comme un histogramme de la fréquence à laquelle surviennent les événements météorologiques. Selon l'événement et l'endroit, différentes distributions sont possibles. Par exemple, on représente souvent la température par une distribution normale (Wigley, 1988), les ondes de tempête par les facteurs Rayleigh (Khandekar et Swail, 1995) et les précipitations par une probabilité lognormale. Ces distributions sont caractérisées par leur moyenne et leur variance.

Bien que de nombreux phénomènes extrêmes surviennent aux extrémités de la fonction de probabilité d'une population homogène unique, certains sont « hybrides », découlant de la convergence malheureuse d'événements plus ou moins reliés. Prenons par exemple l'ouragan Hazel, tempête tropicale qui a été prise par un fort courant-jet aux latitudes moyennes et a regagné de la force, ou encore les inondations en Alberta en juin 1995, alors que des pluies intenses ont coïncidé avec la fonte rapide d'un épais manteau neigeux.

Le climat peut changer de bien des façons :

- 1) La moyenne de distribution peut devenir plus positive ou négative; c'est le cas du réchauffement mondial d'environ 0,5 °C survenu au cours du dernier siècle.
- 2) L'écart de distribution peut changer. Prenons par exemple la variabilité moindre des écarts de la température quotidienne aux États-Unis, en Union soviétique et en Chine (Karl *et al.*, 1995) ou la variabilité accrue des pluies au Sahel (Hulme, 1992).

- 3) La distribution peut devenir plus ou moins asymétrique, comme le montre Lambert (1995, 1996), qui a constaté une diminution des faibles tempêtes, mais une augmentation des tempêtes intenses dans le cadre d'une expérience avec MCG à double CO₂, où la variance a baissé d'environ 20 % et l'asymétrie d'environ 25 %.
- 4) L'autocorrélation peut changer, ce qui influe sur la fréquence de l'ordre des événements. Par exemple, l'autocorrélation accrue des températures quotidiennes maximales entraînera des extrêmes plus fréquents, même si leur nombre reste le même.

L'incidence des phénomènes hybrides peut changer. Par exemple, si le courant-jet aux latitudes moyennes se déplace vers le nord, dans un climat plus doux, mais que les zones d'occurrence des ouragans ne changent pas, les événements hybrides comme l'ouragan Hazel deviennent moins probables. La probabilité d'un risque hybride dépend non seulement de la loi de probabilité des éléments pertinents, mais de leur distribution géographique.

Les vitesses du changement climatique peuvent être linéaires ou non. Un changement « soudain » peut survenir en raison de la superposition de plus d'une force (interférence constructive des ondes), ou parce que le système climatique atteint un point de bifurcation et adopte un autre mode stable. Pour illustrer cette dernière situation, prenons l'exemple d'un changement de la circulation océanique, passant de la circulation thermohaline actuelle à une circulation plus symétrique entre l'Atlantique et le Pacifique (Manabe et Stouffer, 1988). Il y a de plus en plus de preuves empiriques que le climat a tendance à se manifester par différents états ou modes, et qu'il passe rapidement de l'un à l'autre (Broecker, 1995).

Bien qu'un changement de la moyenne, par exemple celle des précipitations, puisse être dangereux dans le sens où il modifie ce à quoi la société s'est adaptée, il semble que l'impact le plus important du changement climatique sera lié à l'augmentation ou à la diminution des événements extrêmes.

Comment le changement climatique influe-t-il sur les risques naturels?

On peut chercher à comprendre les effets du changement climatique sur les risques de différentes façons. On peut, par exemple, tester l'importance statistique des tendances de certains paramètres pertinents, utiliser des données empiriques pour relier les risques aux phénomènes causaux, ou se servir de modèles pour faire des prédictions ou élaborer des scénarios. Chacune de ces méthodes est valable et peut aider à faire des inférences sur la façon dont les choses se présenteront à l'avenir.

Cyclones tropicaux

On a avancé que les cyclones tropicaux et les ouragans pourraient être plus fréquents ou plus intenses dans un climat plus chaud. On peut relier la fréquence des cyclones tropicaux à six paramètres physiques (Ryan *et al.*, 1992) : trois paramètres dynamiques (le tourbillon relatif à bas niveau, le paramètre de Coriolis et le cisaillement vertical du vent), et trois paramètres thermodynamiques (l'énergie thermique océanique, l'instabilité de l'humidité et l'humidité

relative). Les arguments en faveur d'une fréquence accrue reposent sur des pronostics de la hausse des températures de la surface de la mer (TSM) ou de l'énergie thermique des océans.

Depuis la milieu des années 1970, le nombre d'ouragans intenses dans l'Atlantique a diminué (Landsea *et al.*, 1996), bien qu'il semble n'y avoir aucune tendance au niveau mondial. On a établi une corrélation entre cette baisse dans l'Atlantique et une fréquence accrue des épisodes El Niño et des pluies au Sahel. Toutefois, il existe certaines indications que les ouragans plus fréquents en 1995 et 1996 représentent un retour à un cycle de fréquence accrue de l'activité, après les décennies 1970 et 1980 relativement calmes. Pielke et Landsea (1997), remarquant que les ouragans sont les catastrophes naturelles les plus coûteuses aux États-Unis, n'ont constaté aucune tendance quant aux dommages une fois les données corrigées en fonction de l'inflation, de la population et des changements de la richesse.

Emmanuel (1987) a étudié la question en considérant le cyclone tropical comme une machine thermique de Carnot et a conclu, sur la base d'arguments thermodynamiques augmentant la TSM, qu'une TSM plus élevée dans un environnement au CO₂ doublé augmenterait la baisse de pression maximale supportable de la tempête, ce qui risquerait d'en accroître l'intensité de 40 à 50 %. Il a également envisagé la possibilité d'ouragans hyper-puissants si la TSM augmente de 6 °C ou plus.

Idso *et al.* (1990) ont utilisé des données empiriques pour soutenir l'hypothèse selon laquelle les ouragans ne seraient pas plus fréquents dans un climat mondial plus chaud de 0,5 à 1 °C, et qu'ils pourraient être moins intenses.

Broccoli et Manabe (1990) ont examiné la fréquence des cyclones tropicaux à l'aide d'un MCG à l'équilibre avec double CO₂ et ont constaté une forte augmentation des tempêtes quand la nébulosité était contrainte par la climatologie, mais une fréquence moindre quand on tenait compte de la rétroaction des nuages. Il est intéressant de constater que les augmentations de la TSM étaient plus grandes quand on tenait compte des nuages, ce qui met en lumière l'importance de facteurs autres que la TSM dans le développement des cyclones, plus précisément la rétroaction des nuages. Dans le cadre d'une autre expérience avec un MCG, Haarsma *et al.* (1993) ont constaté une augmentation de 50 % du nombre de cyclones, dont certains étaient relativement plus intenses.

Evans (1993) a étudié les données empiriques liant la TSM à l'intensité des cyclones et n'a constaté aucun rapport évident, concluant que l'accessibilité de l'énergie thermique océanique accrue n'est pas le facteur limitant l'intensité des cyclones tropicaux, bien qu'elle puisse définir une limite supérieure.

Ryan *et al.* (1992) ont utilisé le paramètre de genèse saisonnière de Gray (SGP) pour examiner les changements de fréquence des cyclones d'un MCG et ont constaté une forte augmentation causée par des TSM plus élevées, quoiqu'ils fassent remarquer que ce sont les facteurs dynamiques qui déterminent la fréquence des cyclones, une fois les facteurs thermodynamiques minimaux satisfaits. Cette étude souligne le risque d'utiliser des rapports dérivés de façon empirique et de les appliquer à des environnements différents.

Dans le cadre du programme sur les cyclones tropicaux catastrophiques OMM-CIUS, on a tenu un atelier du 22 novembre au 1^{er} décembre 1993. Les participants (Lighthill *et al.*, 1994) ont conclu, après avoir examiné des données d'observation, que, « *bien qu'on ne puisse exclure la possibilité de certains effets mineurs indirects du réchauffement de la planète sur l'intensité et la fréquence des cyclones, ces effets doivent être "noyés" dans l'importante variabilité naturelle* », et estimé que les modèles climatiques n'étaient pas suffisamment avancés pour permettre d'évaluer les changements de fréquence des cyclones. Dans une critique de Lighthill *et al.* 1994, Emmanuel (1995) soutient que, même si la fréquence reste inchangée, les arguments avancés sur l'intensité sont faussés, et qu'il existe un risque de tempêtes plus violentes en raison du réchauffement climatique.

Tempêtes extratropicales

On soutient communément que, puisque les latitudes polaires devraient se réchauffer plus que les latitudes moyennes ou tropicales, la baisse du gradient de température entraînera des tempêtes de latitude tempérée plus faibles, dont la source d'énergie est la baroclinicité de l'atmosphère. Cette hypothèse se complique en raison de la prévision d'un gradient de température plus prononcé dans la haute troposphère dû à un vaste réchauffement dans la haute troposphère tropicale. En conséquence, on ignore si les tempêtes baroclines seront plus fortes ou plus faibles (Held, 1993), quoique certains calculs théoriques suggèrent que les gradients de la basse troposphère prédominent. Les effets de l'humidité compliquent aussi les choses. La libération de chaleur latente devrait augmenter dans un climat plus chaud, entraînant des tempêtes plus fortes, quoique le transport de chaleur latente dans les tourbillons à grande échelle des tropiques vers le pôle puisse permettre de réduire l'équilibre du bilan énergétique mondial, ultime force motrice des tempêtes des latitudes moyennes. Des changements des régimes de circulation pourraient très bien modifier la trajectoire des tempêtes, ce qui, à l'échelle régionale, pourrait dépasser les autres considérations. Balling et Lawson (1982) ont constaté que les régimes de circulation hivernale en Amérique du Nord ont changé au début des années 1950. Alors qu'ils étaient surtout zonaux, ils sont devenus méridiens, un changement qui aurait des conséquences importantes sur la trajectoire des tempêtes. Ils ont également noté que les plaines intérieures et le quart nord-est des États-Unis semblent plus sensibles aux changements des circulations. La prévision des trajectoires des tempêtes dans un climat plus chaud reste un défi de taille (Held, 1993).

Agee (1991) a étudié la fréquence des tempêtes pendant des périodes de réchauffement et de refroidissement d'échelle hémisphérique et a trouvé des rapports linéaires statistiquement significatifs entre les deux. En période de réchauffement, la fréquence des cyclones augmente, alors qu'elle diminue pendant les refroidissements. Pendant la période de refroidissement de 1950 à 1975, la fréquence des tempêtes a baissé de 30 %, alors que, pendant le réchauffement de 1905 à 1940, elle a augmenté d'environ 19 %. Stein et Hense (1994) ont constaté que la fréquence des tempêtes extrêmes pendant l'hiver sur l'Atlantique Nord a été plus élevée depuis 1988-1989 que jamais depuis 1880. Quant à Lambert (1996), il a constaté une augmentation des violents cyclones hivernaux près de la dépression des Aléoutiennes et de la dépression d'Islande depuis 1980.

À l'aide du MCG du CCC, Lambert (1995) a constaté une baisse de 4 % des cyclones dans l'hémisphère Nord, bien que la fréquence des cyclones intenses ait augmenté. Lambert suppose

que l'effet de la chaleur latente est responsable du plus grand nombre de tempêtes intenses. On n'a constaté aucun changement des trajectoires des tempêtes. Dans certaines régions, la fréquence a augmenté, par exemple au large du cap Hatteras, dans la baie d'Hudson et à l'ouest de l'Alaska. Ces résultats sont similaires à ceux de Rowntree (1993), qui a remarqué une augmentation de 40 % des coups de vent dans l'Atlantique et une diminution du nombre des tempêtes intenses dans l'est de l'Amérique du Nord. Hall *et al.* (1994), ainsi que Carnell *et al.* (1996), ont constaté l'intensification et le décalage vers le nord des trajectoires des tempêtes.

On s'inquiète aussi de l'influence que pourrait avoir le changement climatique sur les graves tempêtes de verglas, vu l'ampleur de celle qui a frappé l'Ontario et le Québec en janvier 1998, et qui a peut-être été le pire désastre socio-économique du Canada. Cette tempête a été associée à l'El Niño du moment, le plus fort jamais observé. Si les épisodes El Niño deviennent plus fréquents du fait du réchauffement planétaire, question à laquelle nous n'avons pas encore de réponse, il pourrait en être de même pour ces terribles tempêtes de verglas.

Les indices de la façon dont les tempêtes changeront dans un climat plus chaud sont contradictoires, et les conclusions, surtout en ce qui a trait aux tempêtes violentes, doivent être considérées comme incertaines.

Orages convectifs

Les orages convectifs (orages violents accompagnés de grêle, de foudre, de tornades, de pluies abondantes et de vents forts) demeurent une question particulièrement complexe pour les MCG en raison de leur petite échelle. On pourrait s'attendre à ce qu'ils soient plus fréquents et plus intenses puisqu'une surface plus chaude et une stratosphère plus froide dans les latitudes moyennes déstabilisent la troposphère. Mitchell et Ingram (1990) ont constaté une convection plus profonde dans un MCG avec CO₂ doublé. Noda et Tokioka (1989), dans le cadre d'une expérience avec un MCG similaire, ont constaté une augmentation des précipitations mondiales, alors que la superficie touchée par les précipitations diminuait. Ces deux études laissent croire que les pluies de convection intenses sont plus fréquentes dans un climat plus chaud. Ainsi, la fréquence des inondations et des sécheresses peut augmenter (Meehl, 1993). Cependant, il faut également tenir compte de la dynamique et on ne sait pas très bien comment les nouveaux champs de vent influenceront sur l'intensité des tempêtes.

Price et Rind (1993) ont constaté, également à l'aide d'un MCG, que dans un climat au CO₂ doublé, avec un réchauffement de 4,2 °C, le total des décharges nuage-sol augmentait dans l'ensemble de 72 % dans les régions continentales.

Etkin (1995), lors d'un examen empirique de l'occurrence des tornades dans les prairies de l'Ouest canadien, a constaté que la fréquence est plus grande pendant les printemps et les étés plus chauds. Ainsi, le nombre de tornades peut augmenter dans cette région en raison du changement climatique. Il est intéressant de noter que le nombre de tornades observées dans le sud de l'Ontario était moins élevé lors de certains étés chauds. Selon Mike Leduc (comm. pers.), cela peut être dû au fait que le front polaire a migré vers les régions non peuplées du nord de la province, là où les événements passent souvent inaperçus.

Griffiths *et al.* (1993) ont étudié la difficulté d'évaluer les changements de la convection et proposent trois façons de procéder, la première consistant à relier les données à des indices de circulation générale, la deuxième étant de comparer la fréquence des conditions préliminaires aux orages violents, et la troisième consistant à comparer les climatologies actuelle et prévue des situations synoptiques.

Hogg (1996) a étudié les extrêmes hydrologiques au Canada et constaté une tendance légèrement positive, mais non significative. Cela n'est peut-être pas surprenant à la lumière des résultats de Ross et Elliot (1996), qui ont constaté une augmentation considérable de l'eau précipitable aux États-Unis, mais pas au Canada. De plus, Karl *et al.* (1995) ont constaté que la proportion de précipitations découlant de phénomènes extrêmes estivaux d'une journée aux États-Unis a considérablement augmenté entre 1910 et 1990.

Il semble probable que le nombre d'épisodes convectifs augmentera, en raison des changements thermodynamiques, dans la plupart des régions dans un climat plus chaud, ce qui suppose que la contribution dynamique aux orages convectifs (associée aux champs de vent) ne diminue pas et compense donc les changements de température et d'humidité.

Catastrophes météorologiques et température

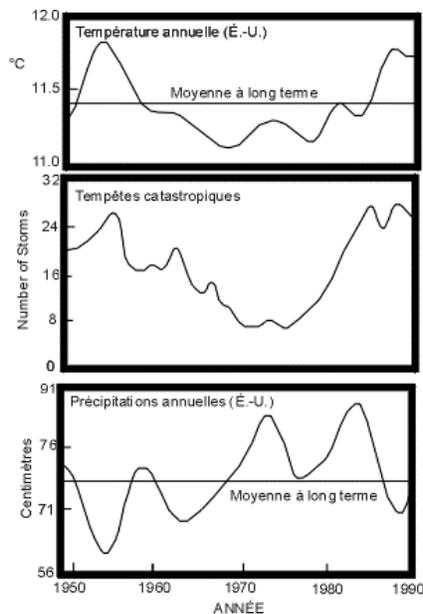
Changnon et Changnon (1992) ont étudié les tendances des catastrophes météorologiques aux États-Unis, cherchant à établir un lien avec les tendances de la température mondiale. On a défini les catastrophes comme des tempêtes entraînant plus de 100 millions de dollars de pertes (dollars de 1991), soit 142 cas entre 1950 et 1989. Ces tempêtes ont entraîné de pertes de 66 milliards de dollars. Elles incluaient les ouragans, les tempêtes hivernales, les orages convectifs et les tempêtes de vent. Les dix pires tempêtes, ou 7 % des catastrophes, sont responsables de pratiquement la moitié des pertes totales. Ce chiffre est encore plus élevé si l'on tient compte de l'ouragan Andrew. La figure 2.1 indique les tendances moyennes de la fréquence des tempêtes sur cinq ans, par rapport aux précipitations et aux températures annuelles. On peut voir qu'il y a eu relativement plus de tempêtes causant des dommages après 1970, surtout des événements liés à des orages. Ces phénomènes sont principalement survenus dans le sud et l'est des États-Unis. Cette figure est particulièrement intéressante, car elle indique un rapport entre les catastrophes météorologiques et la température annuelle aux États-Unis. La corrélation est maximale dans le cas des orages de convection, puis dans celui des tempêtes hivernales, mais faible dans le cas des ouragans. Les auteurs concluent que des climats plus chauds peuvent faire augmenter la fréquence des tempêtes extrêmes dans les deux tiers est des États-Unis.

Épisodes de températures extrêmes

Dans un climat plus chaud, les vagues de chaleur seraient plus fréquentes et les vagues de froid plus rares. Certaines indications laissent croire que même un réchauffement de deux degrés seulement peut avoir des conséquences considérables sur ce risque, en raison des non-linéarités du système.

La fréquence des épisodes de températures extrêmes a été étudiée par Mearns *et al.* (1984), Wigley (1988) et Katz et Brown (1992). Mearns *et al.* (1984) ont remarqué l'important rapport non linéaire entre les changements de moyenne et les changements de probabilité des extrêmes,

Figure 2.1 Moyenne mobile sur cinq ans de la fréquence nationale (É.-U.) des désastres météorologiques et moyenne annuelle de la température et des précipitations. Remarquez le rapport entre les tempêtes et la température



ce qui peut être la principale façon dont on ressent les changements climatiques. Ils ont constaté d'importants changements de la probabilité des vagues de chaleur à Des Moines (par un facteur de 3), et des changements relativement faibles de la température moyenne (1,7 °C). En outre, les changements de la variance et/ou de l'autocorrélation d'une série chronologique de températures peuvent considérablement influencer la probabilité des épisodes extrêmes, car ils peuvent être aussi (ou plus) importants que les changements de moyenne.

Wigley (1988) a constaté que le risque est extrêmement sensible aux changements de la moyenne (en supposant que les épisodes extrêmes proviennent de la même population mère). Par exemple, il a remarqué que, dans le cas d'un phénomène ayant 10 % de probabilité de se produire en cent ans, cette probabilité monte à 90 % si la moyenne augmente de 0,02 écarts-types par année pendant cette période de cent ans (en supposant une distribution normale). Ainsi, si les MCG sont corrects, les phénomènes rares deviendront courants avant le milieu du prochain siècle.

Katz et Brown (1992) ont analysé la sensibilité des phénomènes extrêmes aux changements de moyenne et d'écart-type (avec une distribution normale) et ont remarqué qu'ils sont plus sensibles à la variabilité qu'à sa moyenne et que cette sensibilité s'accroît à mesure que le phénomène est plus extrême. Barrow et Hulme (1996) sont arrivés à la même conclusion. Ils ont analysé des températures extrêmes et constaté qu'un changement de moyenne de 0,05 °C entraîne une augmentation de 35 % de la probabilité de températures quotidiennes supérieures à 38 °C, alors que le même changement d'écart-type entraîne une augmentation de 71 %. Cela s'explique par le fait que la sensibilité à la moyenne augmente de façon linéaire, alors que la sensibilité à l'écart-type augmente de façon quadratique. Ils concluent que toute étude des conséquences du changement climatique qui maintient la variabilité constante pour ne changer

que la moyenne peut être irréaliste. La question de savoir comment intégrer les facteurs de variabilité dans ces études reste problématique. Par exemple, Skaggs *et al.* (1995) montrent combien la variance de température change avec le temps dans l'est des États-Unis. Des analogues spatiaux et temporels pourraient être utiles dans ce cas. Il importe toutefois de noter que les changements de moyenne seront probablement plus importants que les changements de variance, selon les modèles de climat (IPCC, 1995 - Ch. 6).

Zwiers (1994) a remarqué des changements importants de la température maximale, à 2 m de la surface du sol, de la période de retour de dix ans, variant de 4 à 6 °C sur tous les continents, sauf l'Antarctique.

Hennessy et Pittock (1995), avec un scénario de réchauffement mondial de 0,5 °C, ont trouvé que les journées de plus de 35 °C au printemps et à l'été étaient 25 % plus nombreuses à Victoria, en Australie, et de 50 à 100 % plus nombreuses avec un scénario de réchauffement de 1,5 °C.

Mearns *et al.* (1995) ont examiné la variabilité et l'amplitude diurne de la température avec un MCG emboîté et ont comparé leurs résultats à d'autres données. Ils ont constaté, en moyenne, une baisse d'amplitude de la température moyenne quotidienne, avec cependant d'importantes variations régionales et saisonnières découlant principalement des changements des rayonnements de courte longueur d'ondes absorbés. Le changement le plus important de la variabilité de la température quotidienne moyenne était une baisse, l'hiver, aux latitudes supérieures. Les changements de variabilité s'expliquent avant tout par les changements de la circulation atmosphérique, par exemple dans les trajectoires des tempêtes, quoique les changements du régime glaciaire de l'Arctique soient importants aux latitudes polaires. Ces résultats sont conformes à ceux de plusieurs autres études, bien qu'il y ait des différences considérables entre les modèles et que des recherches soient nécessaires pour poser un diagnostic.

Selon des recherches menées récemment à l'Université de Toronto (Columbo, 1997), la variance des températures quotidiennes maximales estivales dans l'ouest du Canada augmente avec la température maximale moyenne, ce qui n'est pas le cas dans le centre et l'est du pays. Cela laisse supposer des vagues de chaleur beaucoup plus fréquentes en raison du réchauffement climatique. Selon ces données, la fréquence des vagues de chaleur dans l'ouest augmenterait environ deux fois plus qu'avec les seuls changements de la température estivale maximale moyenne. De façon similaire, les vagues de froid se feraient plus rares.

Inondations

Le Canada est sujet à divers types d'inondations, parmi lesquelles celles dues aux tempêtes de pluie, aux embâcles et à la fonte des neiges. Les inondations dues aux tempêtes de pluie découlent de phénomènes d'échelle synoptique, moyenne et micro, et peuvent être particulièrement inquiétantes dans les régions urbaines où la surface imperméable augmente le ruissellement de l'eau. Un hiver plus court peut entraîner la diminution du manteau neigeux dans de nombreuses régions, ce qui réduit le risque d'inondations dues aux embâcles et à la fonte, quoique des chutes de neige plus abondantes puissent compenser cette situation. Leathers et Ellis

(1996) ont constaté une forte augmentation de l'accumulation de neige d'effet de lac sur le côté sous le vent des Grands Lacs. Les inondations peuvent également se produire le long des côtes à cause des ondes de tempête et des tsunamis. L'élévation du niveau de la mer due au réchauffement climatique risque d'intensifier les conséquences des ondes de tempête, quoique peu de régions du Canada, sauf Richmond, C.-B., et Charlottetown, Î.P.-É., comprennent de grandes zones vulnérables près du niveau de la mer. Slivitzky et Morin (1996) ont étudié le ruissellement printanier au Québec à l'aide de quatre MCG et ont trouvé qu'il pouvait augmenter de 1,6 à 13,3 % à cause de l'accroissement de la fonte de la neige. Ces résultats portent à croire que les inondations pourraient devenir plus courantes au printemps. D'une manière générale, l'inquiétude quant au risque accru d'inondations dans un monde où le taux de CO₂ est deux fois plus élevé provient du fait qu'une atmosphère plus chaude retient plus d'humidité, ce qui risque d'entraîner une augmentation des précipitations. De plus, on prévoit que les précipitations seront de nature plus convective et, par conséquent, plus intenses sur de plus petites superficies, ce qui laisse prévoir plus de problèmes. Au Canada, l'inquiétude à ce sujet a été éveillée en 1996 et 1997 avec les graves inondations du Saguenay (fortes pluies) et du Manitoba (fonte rapide d'une couche neigeuse épaisse). L'inondation du Saguenay est jusqu'ici l'une des catastrophes naturelles les plus coûteuses pour l'industrie de l'assurance canadienne, alors que celle du Manitoba a d'importantes conséquences financières pour le secteur public.

Gordon *et al.* (1992), tout en notant que les MCG ne peuvent fournir des estimations quantitatives valables sur l'évolution des épisodes de pluies extrêmes, font remarquer que leur MCG indique une augmentation marquée des pluies convectives et une baisse des pluies non convectives aux latitudes moyennes. La fréquence des pluies importantes a augmenté (les périodes de retour diminuant d'un facteur de deux dans le centre des États-Unis, mais pouvant atteindre jusqu'à cinq ailleurs), alors que la fréquence des journées de faible pluie a diminué dans toutes les régions, en particulier aux latitudes moyennes. Ces résultats se rapprochent de ceux de Noda et Tokioka (1989), de Hansen *et al.* (1988) et d'autres chercheurs. De plus, Whetton *et al.* (1993) ont constaté une augmentation des pluies extrêmes dans une passe de MCG d'Australie, bien qu'ils admettent que ces résultats doivent être traités avec une très grande prudence.

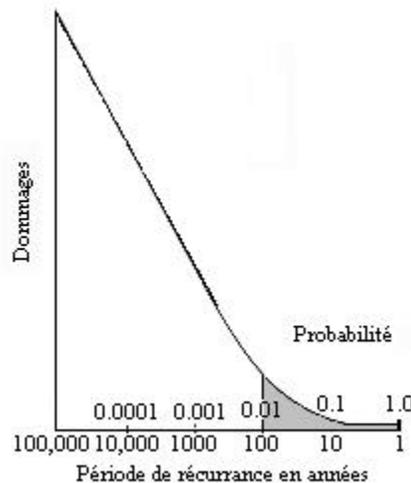
Cette augmentation de la variabilité (due à une convection plus facile) laisse croire que la probabilité des phénomènes extrêmes risque de subir d'importants changements, comme l'ont fait remarquer Katz et Brown (1992). Selon un exemple de Smith (1993, fig. 2.2), une augmentation de 25 % de l'intensité des pluies sur une demi-heure à Sydney a fait passer la période de récurrence de cent ans à 17 ans. Malgré les sérieuses limites aux estimations des changements que subira la probabilité d'inondation, il observe qu'en Australie, on s'entend généralement pour dire que la fréquence des inondations extrêmes va augmenter. Il montre également que des changements dans l'occurrence de phénomènes extrêmes de basse probabilité entraînent une augmentation relativement élevée des dommages. En fait, en Australie, les dommages causés par des événements se produisant plus d'une fois par siècle ont toujours été environ équivalents à ceux de tous les événements survenant moins souvent.

Rind *et al.* (1989), Wilson et Mitchell (1987) et Parey (1994), contrairement aux autres, n'ont pas trouvé d'indications d'augmentation des pluies intenses lors d'une expérience avec un MCG.

Lawford *et al.* (1995) n'ont trouvé aucune preuve concluante de tendances historiques indiquant un changement des inondations extrêmes au Canada, bien que les données laissent croire que l'Alberta subit plus de fortes tempêtes de pluie maintenant que dans les années 1960.

En résumé, les modèles de climat suggèrent une augmentation du nombre des inondations à cause de la tendance vers des précipitations plus convectives et une plus grande humidité absolue de l'atmosphère.

Figure 2.2 Rapport entre les dommages et les probabilités d'inondations



Sécheresse

Si les inondations sont le Yin du risque de précipitations, la sécheresse en est le Yang. Le problème est que, si les précipitations deviennent plus convectives, avec une augmentation des épisodes plus graves, le nombre de jours secs augmentera et la sécheresse sera plus forte (IPCC, 1995). Cette situation pourrait empirer à cause de l'augmentation de l'évapotranspiration potentielle due aux températures plus élevées.

Selon un document intéressant de Hughes et Brown (1992), le centre de la Californie a subi moins de sécheresses de 1850 à 1950 qu'à tout moment au cours des 2000 dernières années. On peut donc penser que le climat actuel est anormalement bénin, et qu'il n'est pas improbable que cette région connaisse des périodes de sécheresse plus fréquentes. Vance (1991) a constaté que la sécheresse dans les Grandes Plaines du nord n'est pas cyclique, mais que des périodes de sécheresse intense s'intercalent entre des périodes plus longues où la sécheresse est un événement rare.

Oladipo (1993) a analysé le phénomène des sécheresses dans le nord du Nigéria et constaté une transition brutale statistiquement significative vers des précipitations moindres dans la région du Sahel à compter de 1968.

Selon Whetton *et al.* (1993), les MCG ne peuvent simuler de façon adéquate l'équilibre de l'eau du sol. Ils ont étudié la sécheresse en Australie à l'aide d'un modèle d'équilibre d'eau du sol

autonome. Les résultats ne sont pas clairs quant au régime de l'eau du sol, et il a été impossible de tirer aucune conclusion sur la probabilité des sécheresses futures.

Certaines études à l'aide de MCG montrent une baisse de l'humidité du sol en été dans le centre du continent nord-américain, ce qui suggère des sécheresses plus fréquentes, quoique Maybank *et al.* (1995) indiquent que la tendance n'est pas claire. Cubasch *et al.* (1995) ont constaté que la fréquence des sécheresses de 3 mois a doublé (de 1 à 2 %) dans le centre de l'Amérique du Nord, dans un scénario de $2xCO_2$. Laird *et al.* (1996) ont reconstitué des régimes de sécheresse dans les Grandes Plaines du nord des États-Unis à l'aide d'assemblages de diatomées fossiles datant de 2 300 ans, et ont conclu que les sécheresses extrêmes de plus grande intensité qui se sont produites pendant les années 1930, étaient plus courantes avant l'an 1200, et que le climat favorable d'aujourd'hui n'est pas représentatif du long terme. Wetherald et Manabe (1995) attribuent l'augmentation de la sécheresse à une diminution de l'humidité du sol, aux latitudes moyennes, conséquence d'une plus grande évaporation.

Bien que les indices ne soient pas probants, on peut raisonnablement penser que la fréquence des sécheresses météorologiques va augmenter à l'avenir.

Autres risques

D'autres risques sont liés aux risques primaires ci-dessus. Par exemple, les incendies de forêt sont fonction de la température, du régime pluviométrique et de la foudre, et sont très sensibles à la variabilité et au changement climatiques. On le voit en examinant les dommages causés par les incendies au Canada dans les années 1980 et 1990, qui ont considérablement augmenté par rapport à la période de 1920 à 1980 (Kurz et Apps, 1996). Street (1989), à l'aide des MCG courants, prévoit une saison d'incendies de forêt plus longue et plus grave en Ontario, les pires feux survenant plus tard dans la saison.

Les ondes et vagues de tempête se forment lorsqu'une tempête frappe un océan ou un lac. On ne sait pas vraiment comment ces risques évolueront avec le réchauffement du climat (Khandekar et Swail, 1995) en raison d'incertitudes sur l'intensité des tempêtes. Karl *et al.* (1995) ont élaboré un indice des extrêmes climatiques aux États-Unis et ont constaté que la tendance soutient l'argument selon lequel le climat est devenu plus extrême depuis environ 1976 (surtout à cause des changements des précipitations et non des températures), bien que cette situation ne sorte pas de la variabilité historique.

Résumé

Le tableau 2.1 résume le consensus scientifique sur les points ci-dessus. Les tendances se manifesteront le plus probablement dans la fréquence des vagues de chaleur et de froid, puis dans la fréquence accrue des inondations et des orages convectifs. Les sécheresses devraient aussi être plus fréquentes, bien qu'on en soit moins sûr.

RISQUES NATURELS - ADAPTATION ET COÛTS

Les recherches sur le changement climatique et l'adaptation à celui-ci sont rares (p. ex., Smit (1993) fait état de la « rareté des recherches » sur l'adaptation et sur la variabilité et le

changement climatiques), quoiqu'il semble qu'elles se font plus nombreuses, alors qu'on reconnaît qu'un certain degré de changement climatique est inévitable (IPCC, 1995), même si de sévères restrictions mondiales étaient imposées sans attendre. Toutefois, la majeure partie de ces recherches ne traite pas des phénomènes extrêmes, bien que leur importance soit soulignée à l'occasion (p. ex., anonyme, 1995; Smit, 1993; IPCC, 1995).

Tableau 2.1 Tendances des risques en fonction du réchauffement climatique

Risque	Tendance liée au changement climatique	Confiance
Cyclones tropicaux	Aucune tendance significative prévue	
Tempêtes extra-tropicales	Indications contradictoires	
Orages convectifs	Plus fréquents et plus violents	Élevée
Vagues de chaleur	Plus fréquentes et plus violentes	Très élevée
Vagues de froid	Moins fréquentes	Très élevée
Inondations	Plus fréquentes	Élevée
Sécheresses	Plus fréquentes	Modérée

On a défini six stratégies fondamentales pour s'adapter au climat (IPCC, 1995), soit : 1) empêcher les pertes, 2) tolérer les pertes, 3) répartir ou partager les pertes, 4) changer d'utilisation ou d'activité, 5) changer d'emplacement et 6) restaurer. La société nord-américaine semble insister particulièrement sur la prévention des pertes par la technologie (p. ex. les barrages), sur le partage des pertes (p. ex. les assurances) et sur la restauration. Ce choix repose sur le point de vue selon lequel les taux de pertes actuels sont supportables et que les coûts sociaux et autres des phénomènes extrêmes dépassant les facteurs de sécurité ne sont pas inabornables. Les coûts des risques naturels combinent les coûts de l'adaptation visant à empêcher les dommages et les coûts découlant des dommages quand l'adaptation ne suffit pas ou que les phénomènes extrêmes dépassent nos systèmes de protection. L'expérience récente laisse croire que les hypothèses ci-dessus ne sont peut-être pas valables, car les coûts sociaux des risques naturels ont beaucoup augmenté au cours des quinze dernières années.

Aux États-Unis, on estime que les risques naturels coûtent environ un milliard de dollars par semaine (National Science and Technology Council, 1996). De 1980 à 1997, il y a eu 28 catastrophes météorologiques, chacune ayant coûté plus d'un milliard de dollars, pour un total d'environ 162 milliards (tableau 2.2a), et qui ont entraîné ensemble des milliers de décès. Le coût le plus élevé (en dollars, et particulièrement en vies humaines) est lié aux vagues de chaleur et aux sécheresses (risque qui semble plus sujet à augmenter que les autres du fait du changement climatique), quoique certains ouragans et inondations aient été pratiquement aussi graves. Le Canada a aussi subi les conséquences de catastrophes (tableau 2.2b). Par exemple, la sécheresse de 1988 a coûté au Canada environ 1,4 milliard de dollars CAN en indemnités et subventions gouvernementales. Les événements les plus coûteux du Canada sur le plan des assurances sont la tempête de verglas de 1998, dont le coût pourrait atteindre 1,5 milliard de dollars CAN, suivie de la tempête de grêle de Calgary de 1991, (360 millions), des inondations du Saguenay en 1996 (350 millions) et de celles de Winnipeg en 1993 (160 millions) (Ross, 1996). On estime que l'adaptation au climat au Canada coûte environ 14 milliards de dollars par année (Burton, 1994).

La pertinence du changement climatique au regard des risques naturels est que la fréquence des phénomènes extrêmes risque d'augmenter, les mesures d'adaptation actuelles pouvant se révéler moins appropriées qu'aujourd'hui (fig. 2.3).

Tableau 2.2a Catastrophes météorologiques aux États-Unis ayant coûté plus d'un milliard de dollars US (1980-1997) – Classées selon le coût économique

Événement	Importance des coûts	Date	Coût économique (milliards \$)	Décès
Sécheresse/Vague de chaleur	1	Été 1988	40	5 000 à 10 000
Ouragan Andrew	2	Août 1992	25	58
Sécheresse/Vague de chaleur	3	Juin à sept. 1980	20	10 000
Inondations dans le Midwest	4	Été 1993	15 à 20	48
Ouragan Hugo	5	Sept. 1989	7,1	57
Ouragan Fran	6	Sept. 1996	>5	37
Sécheresse dans les plaines du sud	7	Automne 1995	>4	0
Inondations au Texas, en Louisiane et au Mississippi	8	Mai 1995	>3	27
Inondations en Californie	9	Janvier-mars 1995	>3	27
Tempête de verglas dans le sud-est	10	Février 1994	>3	9
Tempête/Blizzard	11	Mars 1993	>3	270
Blizzard/Inondations	12	Janvier 1996	3	187
Inondations sur la côte ouest	13	Hiver 1996-1997	3	36
Ouragan Opal	14	Octobre 1995	2 à 3	21
Gel en Floride	15	Déc. 1983	2	0
Ouragan Alicia	16	Août 1983	2	21
Ouragan Iniki	17	Septembre 1992	1,8	6
Ouragan Bob	18	Août 1991	1,5	18
Ouragan Juan	19	Oct.-nov. 1985	1,5	63
Inondations des plaines du nord	20	Avril et mai 1997	1 à 2	11
Tempête de nordet	21	Décembre 1992	1 à 2	19
Ouragan Elena	22	Août-sept. 1985	1,3	4
Incendies de forêt en Californie	23	Automne 1993	>1	4
Inondations/tornades dans les vallées du Mississippi et de l'Ohio	24	Déc. 96 et janv. 97	1	67
Inondations sur le nord de la côte du Pacifique	25	Février 1996	1	9
Inondations au Texas	26	Octobre 1994	1	19
Tempête tropicale Alberta	27	Juillet 1994	1	32
Sécheresse/Vague de chaleur	28	Été 1993	1	inconnu

Source : National Climate Data Center, 1997

Figure 2.3 Fréquence vs impacts des phénomènes extrêmes

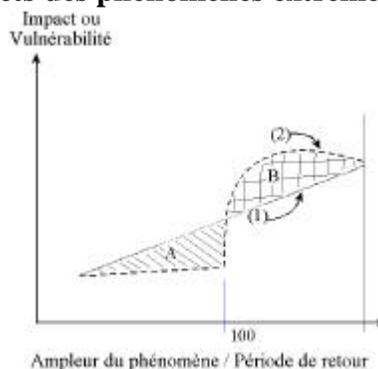


Tableau 2.2b Catastrophes naturelles les plus coûteuses du Canada

Date	Catastrophe	Endroit	Victimes	Impact économique (4 CAN réels)
Étés 1979-1980	Sécheresse	Prairies	Pas d'information	2,5 milliards de 1989
Été 1988	Sécheresse - Vague de chaleur	Prairies + Ontario	Pas d'information	1,8 milliard de 1981, pertes de production, 4 milliards, pertes d'exportations
Janvier 1998	Tempête de verglas et foid qui a suivi	Est de l'Ontario et sud de Québec	Au moins 24 morts	possiblement 1 à 2 milliards
1984	Sécheresse - Vague de chaleur	Provinces de l'ouest	Pas d'information	1 milliard
19-21 juillet 1996	Inondation	Région du Saguenay, Québec	7 morts	1 milliard
1961	Sécheresse	Prairies	Pas d'information	668 millions de 1989, pertes de blé
1936	Sécheresse - Vague de chaleur	Toutes les provinces	780 morts	514 millions de 1989, pertes de blé
7 septembre 1991	Tempête	Calgary, Alberta	Pas d'information	450 million
Mai 1997	Inondation	Red River, Alberta	1 mort	Environ 300 millions
Juillet 1985	Feux de forêt	Colombie-Britannique	Pas d'information	300 million
31 juillet 1987	Tornade	Edmonton, Alberta	27 morts, 253 blessés	250-300 millions de 1989
14 juillet 1987	Inondations	Montréal, Québec	2 morts	229 millions
22 décembre 1996 au 3 janvier 1997	Tempêtes d'hiver	Colombie-Britannique	Au moins 1 mort	200 millions
1993	Inondation	Winnipeg, Manitoba	Pas d'information	175 millions
16 juillet 1996	Tempête de grêle	Calgary, Alberta	Pas d'information	175 millions
1-30 mai 1995	Feux de forêt	Saskatchewan	Pas d'information	122 millions
16 juillet 1996	Tempête de grêle	Winnipeg, Manitoba	Pas d'information	105 millions
28 juillet 1981	Tempête de grêle	Calgary, Alberta	2 morts	100 millions de 1989
31 mai 1985	Tornade	Barrie, Ontario	12 morts, 155 blessés	100 millions
6 septembre 1995	Inondation	Alberta et Colombie-Britannique	Pas d'information	100 millions
Printemps 1950	Inondation	Rivière Rouge, sud du Manitoba	0 ou 1 mort	125.5 millions

Les phénomènes les plus violents ont des périodes de retour plus longues (ils se produisent plus rarement), ce qui est illustré par les valeurs croissantes le long de l'axe X. Leurs impacts croissent avec la période de retour, c'est-à-dire que la société est plus vulnérable aux événements plus rares de plus grande magnitude. La ligne pointillée (1) illustre une situation où la société n'a pas réduit le risque, s'y exposant à tous les degrés de magnitude. En conséquence, la vulnérabilité de la société et les impacts du phénomène augmentent avec l'ampleur de celui-ci. Si l'on réduit le risque (p. ex., par la construction de barrages ou de digues pour se protéger contre une inondation centennale), voir la ligne tiretée (2), la vulnérabilité reste relativement peu élevée jusqu'à la période de retour. Toutefois, s'il y a eu d'autres aménagements dans des zones sujettes aux inondations, par exemple, la vulnérabilité aux événements à période de retour supérieure à cent ans peut très bien avoir augmenté, d'où la forte augmentation après l'événement centennal. Sur l'illustration, les aires A et B représentent les changements de vulnérabilité entre le système naturel et le système protégé. Il faut espérer que l'aire A est plus grande que l'aire B, sinon la vulnérabilité générale de la société a augmenté. Si, en raison du changement climatique, la période de retour d'une valeur diminue (p. ex., un événement à période de retour de 100 ans se

produit dorénavant aux 50 ans), l'aire B augmentera, et l'aire A diminuera, ce qui entraînera une plus grande vulnérabilité générale. Une société adaptée pourrait devenir mésadaptée.

D'une manière générale, on prévoit que le changement climatique aura des impacts négatifs sur notre société et nos écosystèmes, et ce parce que nous nous sommes adaptés (peut-être de façon imparfaite) au climat actuel et non à celui que nous réserve l'avenir. Ces impacts négatifs seront partiellement atténués dans une mesure que nous ignorons, à mesure que nous nous adapterons et que la société examinera ce qu'il en coûte pour limiter le changement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre, comprenant que notre capacité d'adaptation devient de plus en plus importante. Bien que la société ait une vaste expérience de l'adaptation au climat par l'utilisation de codes de construction, de pratiques de conception, etc., l'adaptation au changement climatique est chose nouvelle, du moins aux échelles de temps prévues par les modèles du climat. En conséquence, il est primordial de faire sans tarder des recherches sur l'adaptation au changement climatique.

Phénomènes extrêmes et perception publique

Dans la prise de décisions, la perception d'un événement peut être plus importante que l'événement lui-même. Comment les Canadiens perçoivent-ils le changement climatique?

Kearney (1994) a noté ce qui suit :

- il est pratiquement impossible pour l'homme de percevoir directement le changement climatique, en raison des échelles temporelles de ce changement, et
- il est difficile d'établir un rapport entre les vastes échelles spatiales caractéristiques du changement climatique et la vie de tous les jours.

Selon Rebetez (1996), les gens réagissent aux problèmes posés par le changement climatique principalement en fonction de leur propre expérience quotidienne, quand ils estiment avoir été eux-mêmes sujets à des signes tangibles du changement. La capacité des gens de percevoir les tendances à long terme est plutôt limitée, alors qu'ils arrivent très bien à le faire pour les catastrophes naturelles et les situations météorologiques anormales (White, 1985; Farhar-Pilgrim, 1985). Selon une étude, une augmentation des précipitations de 30 % en trente ans est passée inaperçue. De plus, Stehr et von Storch (1995) rappellent que la perception publique est souvent modelée par les extrêmes, qui sont souvent mal compris dans le contexte du changement climatique. (*Un exemple intéressant l'illustre bien. Il s'agit d'un article paru dans le Newsweek après la « tempête du siècle » sur la côte Est en janvier 1996. La manchette demandait si c'était ça le réchauffement de la planète, et le texte expliquait que le blizzard était un exemple du genre de tempêtes pouvant résulter de ce phénomène.*)

Cette recherche porte à croire que la perception publique du changement climatique et des risques connexes sera principalement régie par les phénomènes extrêmes. Cette observation aide grandement à comprendre la façon dont la population réagit aux informations scientifiques sur le changement climatique, la façon dont sa perception se forme, les obstacles à l'adaptation et la manière dont l'information sur le réchauffement planétaire devrait être communiquée. Par exemple, Stehr et von Storch rappellent que les gens n'ont jamais une version directe de la

perspective du climat élaborée par les spécialistes, mais plutôt une image filtrée. Il faudra faire des recherches additionnelles sur la question si l'on veut savoir comment bien informer la population des risques du changement climatique, de façon qu'ils soient correctement pris en compte sur la scène politique.

Risques naturels et développement durable

Les collectivités ne sont pas économiquement durables si les coûts cumulatifs des catastrophes et des risques naturels excèdent ce qu'elles retirent de l'exploitation des régions dangereuses. La science et la technologie sont des outils puissants pour modifier la vulnérabilité, et l'une des grandes questions que l'on pose souvent est « Comment les utiliser pour inverser l'augmentation ... des pertes de biens dues aux risques naturels? » (White, 1995). Cependant, on peut avancer que, bien que la science et la technologie aient réduit la vulnérabilité aux événements plus courants se produisant dans des limites précises, leur effet ultime est d'augmenter la vulnérabilité aux phénomènes extrêmes. White (1995) soutient qu'il faudrait plutôt insister sur « la manière d'utiliser l'information, sous des formes et par des voies de communication différentes, pour influencer sur les décisions relatives aux situations d'urgence ou à la diminution des risques ». Il ajoute que, « quand la politique d'aide vise à servir ceux qui se sont exposés, sciemment ou non, aux risques sans tenir compte, ou très peu, de la faisabilité des mesures visant à en réduire la gravité, on perd un grand moyen d'inciter les gens à éviter les endroits et les structures vulnérables. » De même, les assurances ont un grand rôle à jouer pour encourager les gens à réduire les risques (ou non). Le coût des catastrophes naturelles, à l'étranger comme au Canada, a augmenté au cours des dernières années. Il se peut fort bien que certaines collectivités ou certains secteurs soient incapables de supporter ce coût, qui augmentera probablement encore à cause du changement climatique. Alors que la période de retour de certains épisodes extrêmes diminue, de nombreuses collectivités seront exposées à des catastrophes plus fréquentes, ce qui risque dans bien des cas de surpasser l'intérêt à exploiter l'endroit en question. Ainsi, le changement climatique nuit au développement durable. Dans cette optique, un bon scénario du futur climat serait de prendre en considération des études de cas d'extrêmes passés, avec des périodes de retour plus courtes. Il importe en effet, pour se donner un avenir viable, de mieux comprendre comment l'utilisation des terres, la conception et la construction des bâtiments, l'assurance et l'aide publique sont liées au développement durable.

CONSÉQUENCES SOCIALES ET ÉCONOMIQUES DES RISQUES ET DES CATASTROPHES HYDROMÉTÉOROLOGIQUES AU CANADA : INVENTAIRE PRÉLIMINAIRE

Mise en garde!

Ce document est incomplet et il l'est pour certaines raisons :

1. Souvent, on ne dispose pas de données sur les conséquences sociales et économiques des risques naturels.
2. Souvent, les données sont archivées ou stockées de telle façon qu'il n'est pas pratique ou économique d'y accéder, compte tenu des ressources allouées à ce travail.

3. Il y a des lacunes dans les données pour deux raisons : (a) les organisations visées (qui sont légion) n'ont pas toutes été consultées; (b) les organisations sollicitées n'ont pas toutes répondu.
4. Les données sont analysées par un météorologue; il est clair qu'il devrait travailler en collaboration avec un économiste et/ou un spécialiste des sciences sociales.

Introduction

Le Canada est exposé à différents risques naturels, à la fois géophysiques et hydrométéorologiques. Ces risques ont eu, à certains moments, des impacts sociaux et économiques considérables sur la population, et il est certain que cela continuera d'être le cas. Parmi les exemples récents de ces impacts significatifs figurent les tempêtes de grêle de Calgary et Winnipeg en juillet 1996, la grave inondation qui a dévasté le Saguenay en juillet 1996, l'inondation de la rivière Rouge au printemps 1997 et la terrible tempête de verglas sur l'est de l'Ontario, le sud du Québec et le Nouveau-Brunswick en janvier 1998.

Il est important de comprendre les coûts passés et éventuels des catastrophes et des risques naturels pour les raisons suivantes :

1. S'ils sont conscients des risques, les gens peuvent prendre des décisions personnelles mieux informées sur l'achat d'assurances et d'autres options de réduction et d'adaptation.
2. Les différents paliers de gouvernement peuvent concevoir de meilleurs outils politiques pour faire face aux risques, en ce qui a trait à la prévention, à la réaction et à la récupération.
3. Les industries (p. ex., les assurances) peuvent fonder leurs analyses coûts-avantages sur les meilleures données accessibles.

Ce document ne traite que des événements hydrométéorologiques, bien que d'autres risques naturels soient certainement importants (en fait, le pire danger auquel les Canadiens seront confrontés à l'avenir est probablement un tremblement de terre. La figure 2.4 résume partiellement les données de base de ce document, précisant le nombre d'événements identifiés, par risque, dont on a pu ou non estimer les coûts. Le total des coûts connus est indiqué à la fin de chaque barre, en dollars de 1995. Les tornades ne sont pas comprises, car il y a plus de 2 200 événements connus. On a tenu compte des événements lorsque la source d'information suggérait un impact significatif, météorologique, social ou économique, mais on n'a donné aucune définition précise de cet impact. Les données ont été principalement recueillies par des étudiants de premier, deuxième et troisième cycle pendant les périodes normales d'études. Pour certaines catégories, comme les vagues de froid et de chaleur, on a relevé un certain nombre d'événements, mais sans avoir d'estimation des coûts; des recherches plus approfondies pourraient permettre de recueillir des renseignements économiques. Certaines catégories, comme les inondations et les tempêtes, sont accompagnées d'un certain nombre d'estimations, mais pour une faible proportion seulement. Les sécheresses sont de loin les risques cumulativement les plus coûteux, bien qu'elles soient en quatrième place pour la fréquence. Il importe de noter que, dans la catégorie des ouragans, on connaît les répercussions économiques de Hazel seulement. Les fortes tempêtes de verglas peuvent aussi être très coûteuses, bien que moins fréquentes que les autres catastrophes.

Une étude historique des catastrophes canadiennes (Jones, 1991; Jones, 1995) montre que 44 % d'entre elles sont liées au temps ou au climat. Presque un tiers de toutes les catastrophes surviennent en mer, et 80 % d'entre elles sont liées au mauvais temps. On trouvera une liste des catastrophes aux tableaux 2.3 et 2.4.

Figure 2.4 Nombre d'événements à risque identifiés (sans les tornades), de 1961 à 1996, en dollars de 1995. Ces chiffres n'incluent pas l'inondation de la rivière Rouge (300 millions) ou la tempête de verglas de janvier 1998 (2 à 3 milliards)

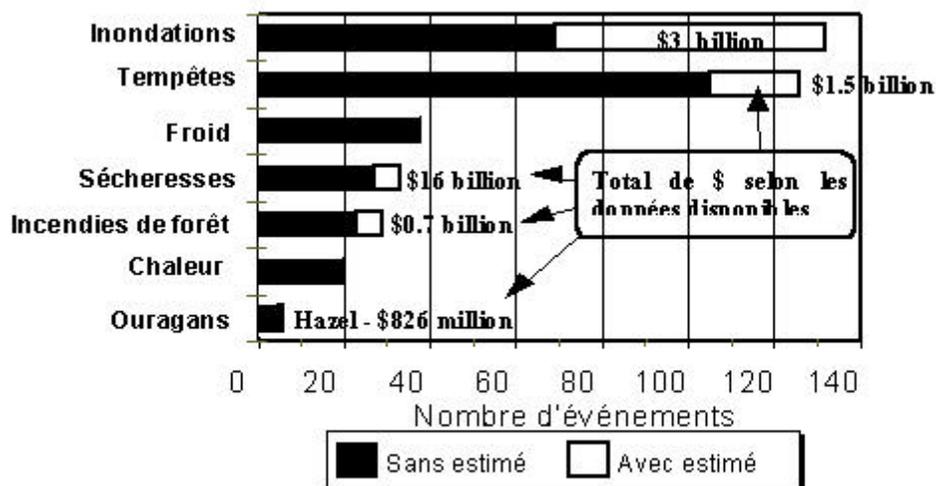


Tableau 2.3 Catastrophes météorologiques survenues au Canada et ayant causé plus de 20 décès

Catastrophe	Année	Décès
1. Naufrage du <i>Delight</i> à l'île de Sable, N.-É.	1583	85
2. Flotte de navires échoués : brouillard, Québec	1711	884
3. Ouragan sur le Grand Banc, T.-N.	1775	4 000
4. Naufrage de l' <i>Ontario</i> , lac Ontario	1783	190
5. Naufrage du <i>Hamilton</i> et du <i>Scourge</i> , lac Ontario	1813	53
6. Incendie à Miramichi, N.-B.	1825	200-500
7. Vents de force d'ouragan, lacs Ontario et Érié	1844	200
8. Ouragan à Terre-Neuve	1847	300
9. Naufrage de 70 navires de pêche américains : coups de vent, Î.-P.-É.	1851	150-300
10. Naufrage de l' <i>Hungarion</i> au large de l'île de Sable	1860	205
11. Naufrage de l' <i>Anglo Saxon</i> à Cape Race, T.-N.	1863	238
12. Débordement du Saint-Laurent, Sorel et Trois-Rivières	1865	4
13. Disparition du <i>City of Boston</i> : tempête au large de la N.-É.	1870	191
14. Naufrage de l' <i>Atlantic</i> : brouillard à Prospect, N.-É.	1873	535-585
15. Incendies de forêt près du lac Huron	1881	500
16. Naufrage de l' <i>Asia</i> : coups de vent, baie Georgienne	1882	126
17. Naufrage de l' <i>Algoma</i> , lac Supérieur	1885	48
18. Grand incendie de Vancouver	1886	30-40
19. Collision <i>La Bourgogne/Cromartyshire</i> au large de la N.-É.	1898	549
20. Naufrage du <i>Valencia</i> au large de l'île de Vancouver	1906	126
21. Avalanche au col Rogers, C.-B.	1910	62

22. Incendie de forêt, Porcupine, Ont.	1911	73
23. Tornade à Regina	1912	29
24. Naufrage de 34 navires : tempête sur les Grands Lacs	1913	270
25. Disparition du <i>Southern Cross</i> au large de T.-N.	1914	173
26. 4 navires de chasse au phoque englacés au large de T.-N.	1914	77
27. Collision <i>Empress of Ireland/Storstad</i> au large de Rimouski, Qué.	1914	1 014
28. Avalanche à la mine Britannia, Howe Sound, C.-B.	1915	57
29. Incendies de forêt, Cochrane/Matheson, Ont.	1916	233
30. Échouement du <i>Princess Sophia</i> , nord de la C.-B.	1918	343
31. Incendie de forêt, Haileybury, Ont.	1922	44
32. <i>John B. King</i> frappé par la foudre	1930	30
33. Naufrage de 3 navires sur les Grands Lacs	1940	69
34. <i>Truxton</i> et <i>Pollux</i> échoués au large de T.-N.	1942	204
35. Ouragan Hazel	1954	83
36. Écrasement du Northstar de TCA, Mt. Slesse, C.-B.	1956	62
37. 22 bateaux de pêche coulés : tempête, Escuminac, N.-B.	1959	35
38. Tempête hivernale, Maritimes	1964	23
39. Avalanche au mont Granduc, Stewart, C.-B.	1965	26
40. Naufrage du <i>D.J. Morrell</i> , lac Huron	1966	28
41. Effondrement de terrain, tempête de pluie, Saint-Jean-Vianney, Qué.	1971	31
42. Naufrage du <i>Edmund Fitzgerald</i> , lac Supérieur	1975	29
43. Écrasement d'un 737 de PWA, Cranbrook, C.-B.	1978	42
44. Naufrage du <i>Ocean Ranger</i> au large de T.-N.	1982	84
45. Tornade à Edmonton, Alberta	1987	27
46. Écrasement d'un avion d'Air Ontario, Dryden, Ont.	1989	24
47. Naufrage du <i>Johanna B</i> et du <i>Capitaine Torres</i> , golfe du Saint-Laurent	1989	39
48. Naufrage du <i>Gold Bond Conveyor</i> au large de Yarmouth, N.-É.	1993	33

Tableau 2.4 Liste supplémentaire : catastrophes météorologiques de plus de quelques jours, ou étant survenues hors du territoire canadien, ou ayant causé moins de 20 décès.

Catastrophe	Année	Décès
49. Deux incendies à Québec	1845	23
50. Perte de l'expédition Franklin, T.N.-O.	1847-1848	129
51. Naufrage de 1 200 navires dans un ouragan, Cap Breton	1873	inconnu
52. Incendie à Saint John, N.-B.	1877	18-100
53. Naufrage du <i>Titanic</i> : iceberg, au sud du Grand Banc de T.N.	1912	1 513
54. Plus longue vague de chaleur estivale du Canada	1936	780
55. « <i>Dirty Thirties</i> » dans les Prairies	1930-1939	inconnu
56. Tornade sur le lac Ste-Claire	1846	16
57. Débordement de la rivière Rouge, Man.	1950	1
58. Cargo coulé : vents, lac Supérieur	1953	17
59. Tempête de neige de 60 heures à Montréal, 70 cm de neige	1969	15
60. Tornade à Barrie, Ont.	1985	12
61. Naufrage du chalutier <i>Hosanna</i> à 400 km de Cape Race, T.-N.	1987	34
62. Disparition du <i>Protektor</i> , 400 km à l'est de T.-N.	1991	33
63. Naufrage du <i>Salvador Allende</i> , 900 km au sud de T.-N.	1994	29

Qu'est-ce qu'une catastrophe naturelle?

Les catastrophes naturelles sont les extrêmes des risques naturels et se produisent quand la société est rendue vulnérable par un phénomène extrême. On parle de catastrophe lorsque les ressources locales ne suffisent pas pour se remettre sur pied. Les exemples récents sont

nombreux, notamment la tempête de verglas de 1998, l'inondation de la rivière Rouge en 1997 et celle du Saguenay en 1996. Blaike *et al.* (1994) insistent sur l'importance de comprendre les fondements sociaux des catastrophes (la nature provoque l'événement, et l'homme la catastrophe). Les coûts résultant des risques dépendent de nos décisions en matière d'adaptation. Par exemple, si personne ne vivait dans des maisons mobiles ou n'allait à l'école dans des classes préfabriquées, le nombre de décès dus aux tornades serait beaucoup moins élevé. Le danger résulte d'un certain nombre de facteurs sociaux enracinés dans l'accès limité à l'électricité et aux ressources économiques, et dans la nature des régimes politiques et économiques. La figure 2.5 (adaptée de Blaike *et al.*, 1994) illustre cette relation.

Les risques naturels en contexte

À l'échelle de la planète, les gens meurent pour des raisons très variées, les principales étant les troubles civils et les famines. La figure 2.6 donne le nombre de catastrophes survenues dans le monde de 1967 à 1991, ainsi que le nombre de blessés et de tués. Il importe de noter que les inondations sont les catastrophes les plus fréquentes, mais que les sécheresses font le plus de victimes. La plupart des risques naturels causent relativement peu de décès directs, surtout dans les pays développés, quoique leurs impacts économiques puissent être graves. La seule exception possible est la famine, souvent liée à la sécheresse ou à une inondation, bien que certains soutiendront que le nombre de morts est plus lié à des questions sociales qu'au risque physique lui-même.

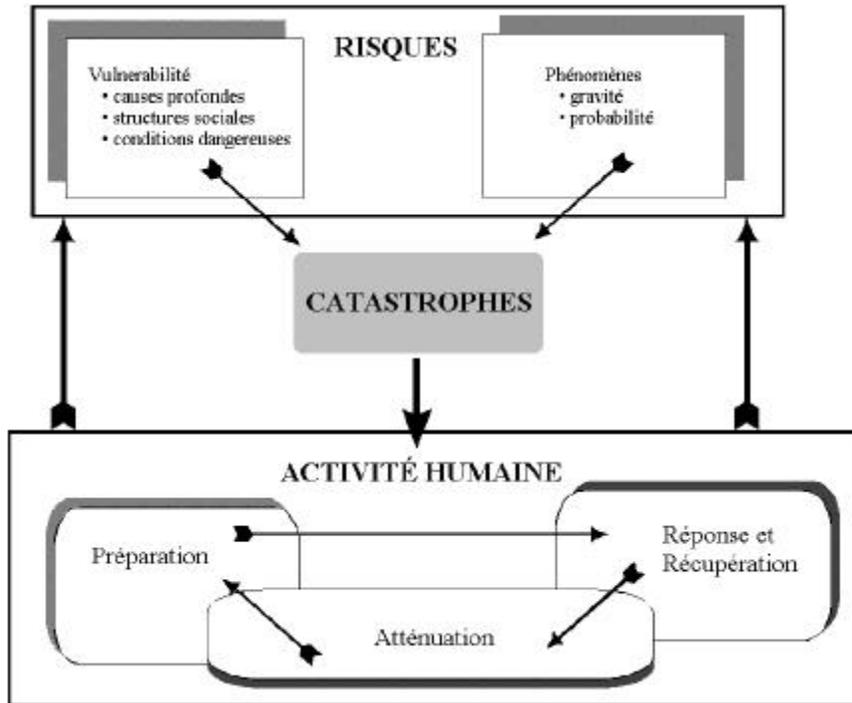
Ces chiffres varient beaucoup d'un pays à l'autre, pour des raisons évidentes. Les pays où il n'y a pas de guerre et qui sont suffisamment riches pour soutenir un bon régime de soins de santé et de bonnes infrastructures, réduisant ainsi la vulnérabilité, sont bien différents de pays comme la Somalie, qui souffre de nombreuses plaies sociales et économiques. Les coûts supportés au Canada sont résumés ci-dessous.

Coûts sociaux au Canada

Transport : Accidents d'aéronef

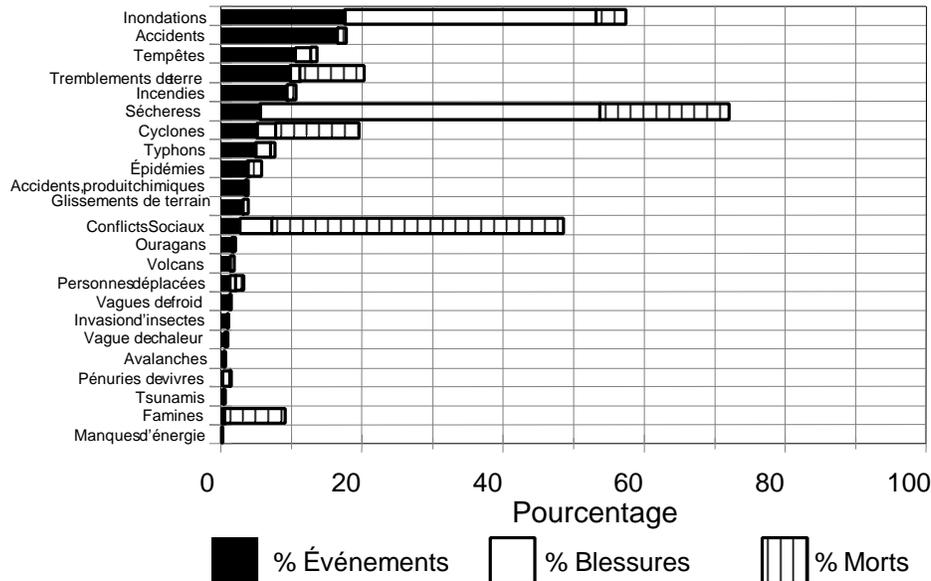
La figure 2.7 présente les accidents d'avion et d'hélicoptère survenus au Canada de 1985 à 1994. Les icônes remplies illustrent les événements liés aux conditions météorologiques, alors que l'interaction homme-environnement est indiquée à compter de 1991 par les icônes réticulaires. Les valeurs ont été ajustées au nombre d'heures de vol en 1994. On notera la tendance à la baisse des accidents d'avion dus au mauvais temps, qui étaient de plus de 60 en 1985 et de moins de 20 par année en 1994. La tendance des accidents d'hélicoptère est encore plus faible.

Figure 2.5 Cycle d'adaptation aux catastrophes



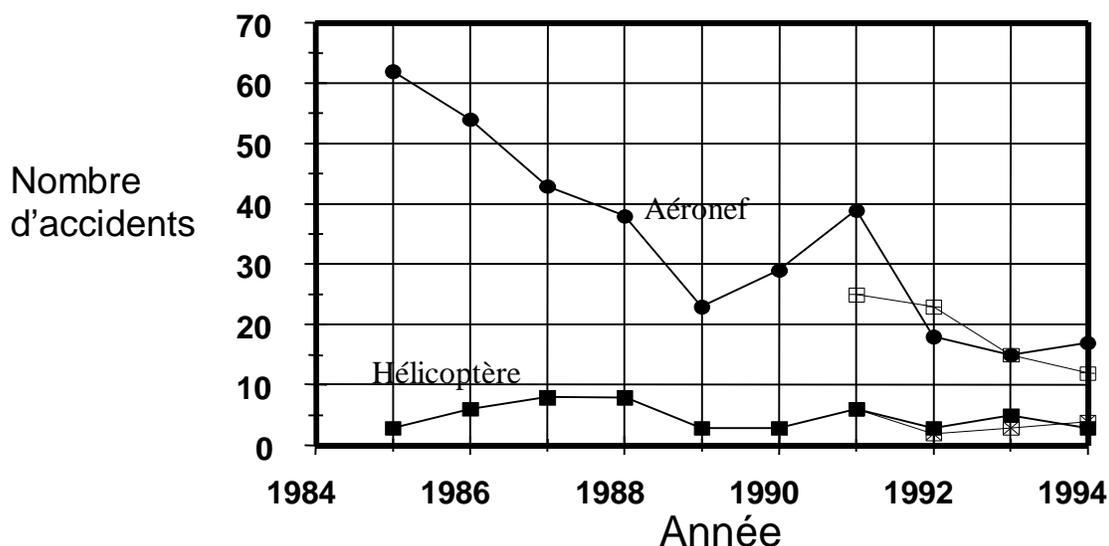
Une catastrophe entraîne naturellement un cycle de réponses humaines de réaction et de récupération, d'atténuation et de préparation. Ces réponses peuvent modifier notre vulnérabilité influant ainsi sur les catastrophes futures

Figure 2.6 Catastrophes à travers le monde de 1967 à 1991



Les 7 766 événements dénombrés ont causé la mort de 7,5 millions de personnes et des blessures à 3 milliards de personnes. Les phénomènes météorologiques sont responsables de 47 % des événements, de 91 % des blessures et de 36 % des morts. (Source : Rapport sur les catastrophes mondiales, Croix-Rouge internationale)

Figure 2.7 Accidents d'aéronef associés au temps

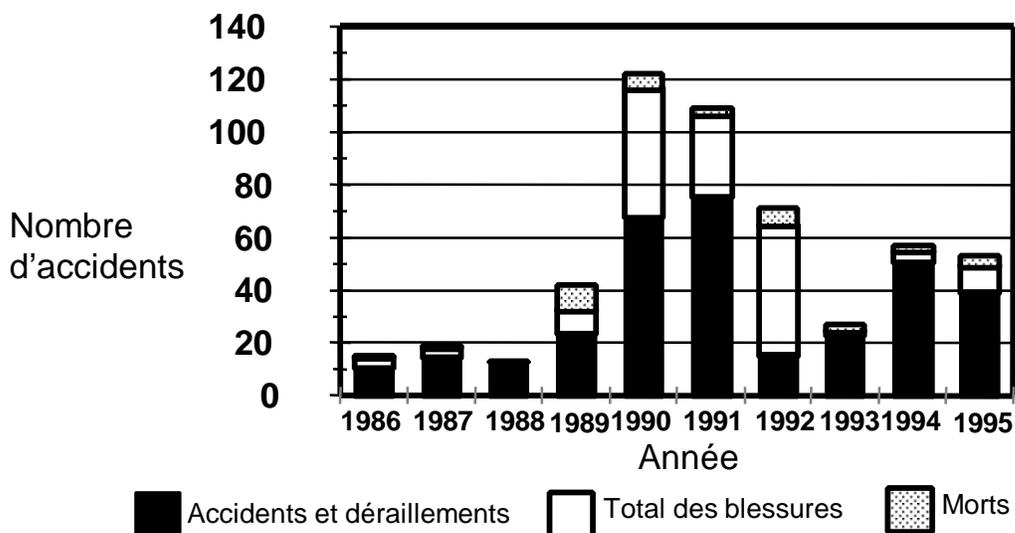


Source : Bureau canadien de la sécurité des transports

Accidents de chemin de fer

Le nombre d'accidents de chemin de fer dus au temps est considérable au Canada – plus de 120 en 1990 –, quoique le nombre de décès soit peu élevé (fig. 2.8). Le nombre d'accidents a augmenté brusquement de 1988 à 1990, pour une raison encore inconnue, et a diminué après 1991, bien qu'il ne soit jamais retourné au taux d'avant 1989.

Figure 2.8 Accidents de chemin de fer associés au temps

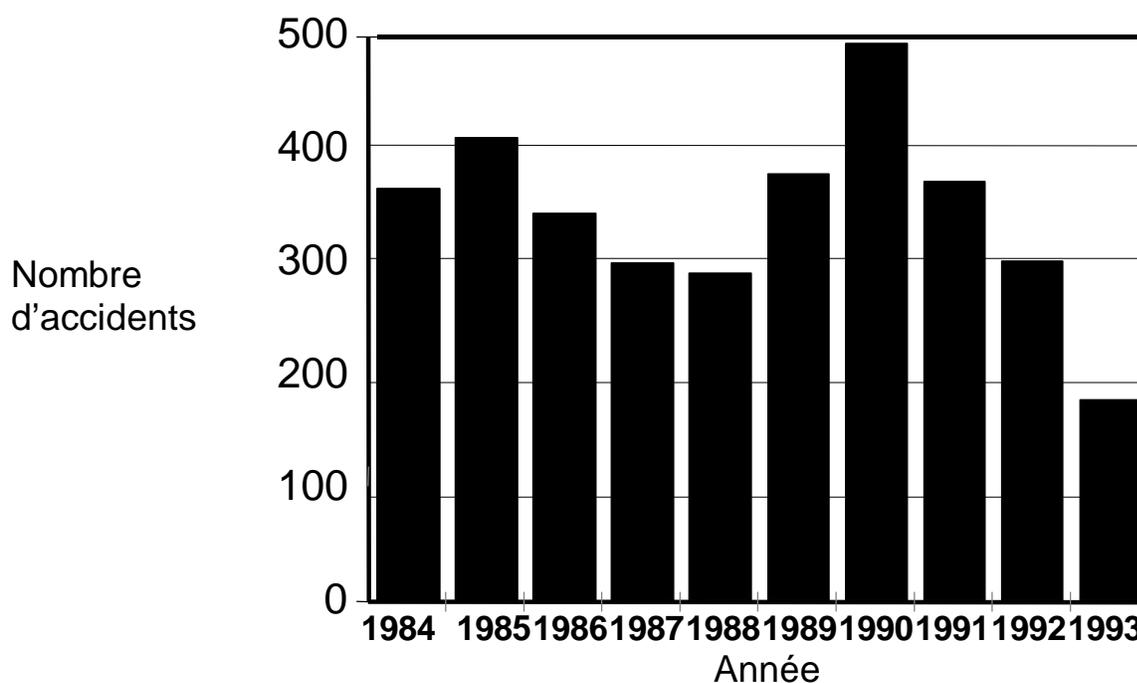


Source : Bureau canadien de la sécurité des transports

Accidents de navigation

Historiquement, un bon nombre des pires catastrophes survenues au Canada sont survenues en mer (Jones, 1995). La figure 2.9 illustre le nombre d'accidents maritimes liés aux conditions météorologiques et survenus entre 1984 et 1993. La pire année fut, comme pour les accidents de chemins de fer, 1990, où l'on a enregistré près de 500 accidents. Dans l'ensemble, il y a eu une baisse graduelle d'importance discutable. Des données historiques sur les catastrophes maritimes liées au temps figurent au tableau 2.3.

Figure 2.9 Accidents maritimes associés au temps

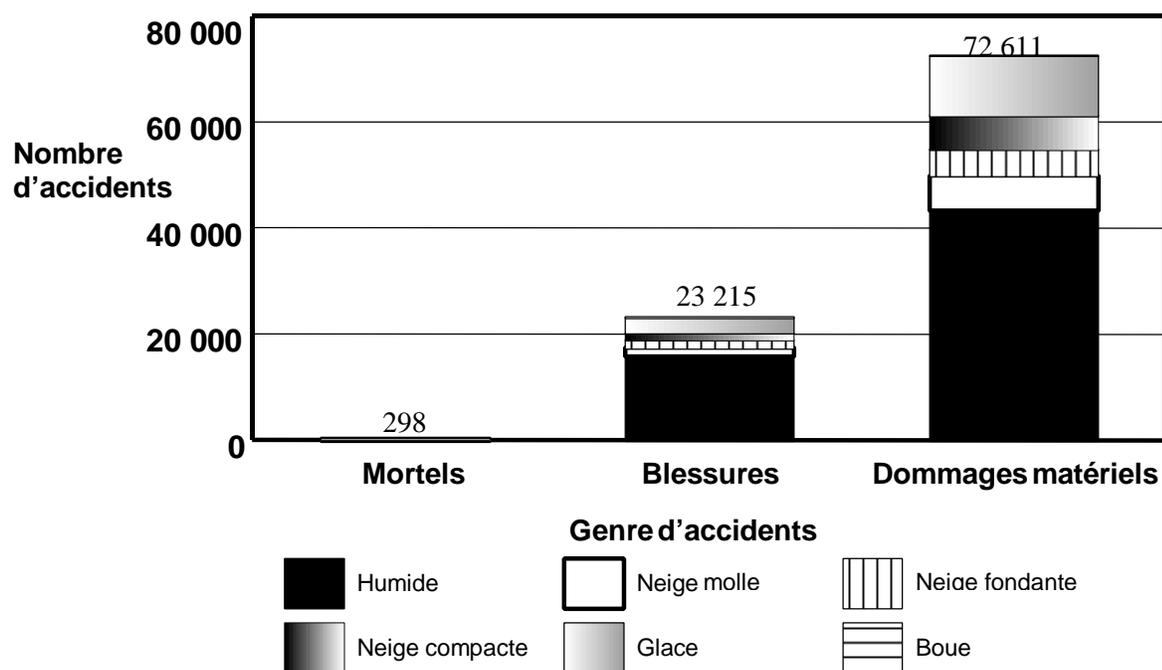


Source : Bureau canadien de la sécurité des transports

Accidents de la route en Ontario

La figure 2.10 présente les statistiques de 1992 sur les accidents de la route survenus en Ontario à cause du mauvais temps, soit environ un tiers des accidents. On compte 298 décès, plus de 23 000 blessures corporelles et plus de 72 000 cas de dommages à la propriété. Cela ne comprend pas les incidents mineurs non signalés à la police. La majorité des accidents a eu lieu sur des chaussées humides; viennent ensuite la glace, la neige, la neige fondante et la boue. On ne dispose pas des données pour les autres provinces, mais il est certain que les accidents de la route dus au mauvais temps sont considérables.

Figure 2.10 Accidents de la route associés au temps en Ontario



Source : Ministère des Transports de l'Ontario

Blessures entraînant une perte d'activité

Les blessures entraînant une perte d'activité sont dues avant tout au froid (fig. 2.11). Il importe de noter la forte augmentation du temps perdu après 1986, qui est probablement due à des facteurs non climatiques, comme ceux concernant les politiques des Commissions des accidents du travail. Ces dernières années, le nombre de blessures variait entre 1 500 et 2 000 par année. Le coût supporté par les employeurs peut être très élevé et mérite une enquête plus approfondie. C'est au Québec qu'on a enregistré le plus grand nombre de blessures entre 1990 et 1994 (56 %), puis en Nouvelle-Écosse (15 %) et en Alberta (9 %).

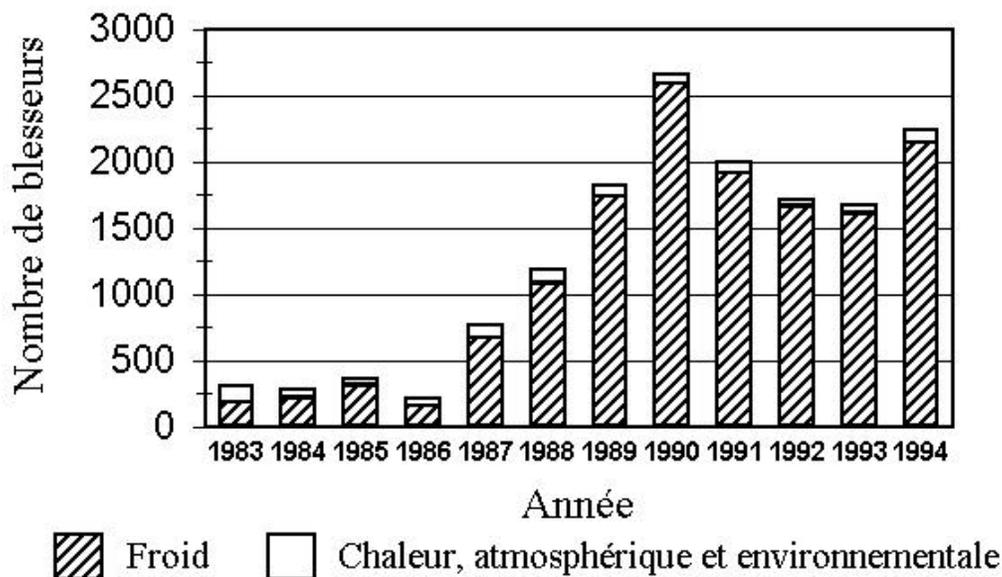
Temps perdu au travail

La figure 2.12 précise le nombre d'heures de travail perdues entre 1981 et 1994 en raison du mauvais temps, ajustées au nombre de travailleurs canadiens en 1994. On note une diminution graduelle du temps perdu, contrairement à ce que laisse croire le nombre de blessures entraînant une perte d'activité précisé à la figure 2.11. Des recherches plus approfondies seront nécessaires pour comprendre cette tendance.

Comme l'illustre la figure 2.13, les conditions atmosphériques peuvent entraîner des décès au Canada. La plupart de ces décès sont dus au froid. En comparaison, le nombre de décès dus à des accidents de la route survenus en raison du mauvais temps en Ontario seulement est beaucoup plus élevé (fig. 2.10). Au cours des dix dernières années, le nombre de décès dus au froid a

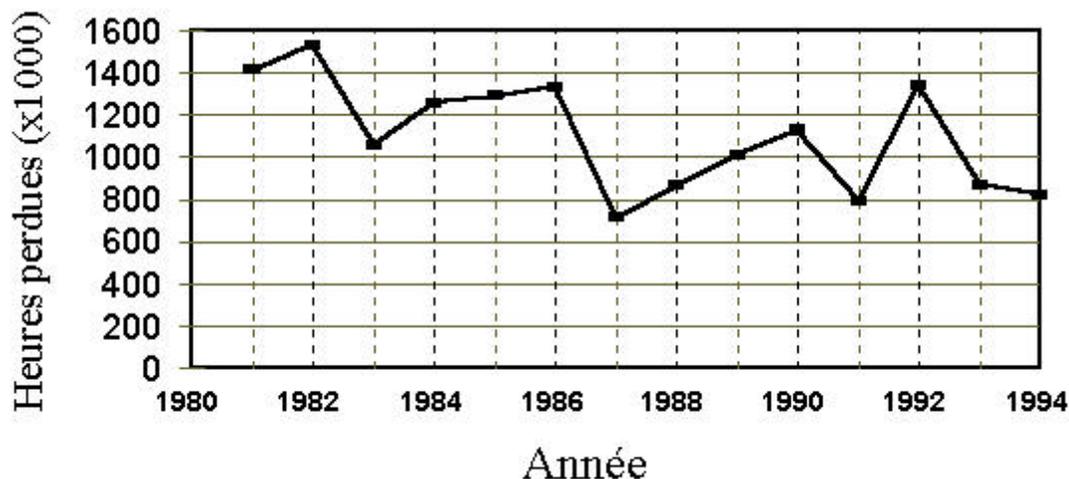
progressivement diminué, alors que ceux dus à d'autres conditions atmosphériques sont restés plutôt constants. La façon dont Statistique Canada détermine la cause des décès nécessite une enquête plus approfondie.

Figure 2.11 Temps perdu au travail en raison du mauvais temps, population ajustée à 1995



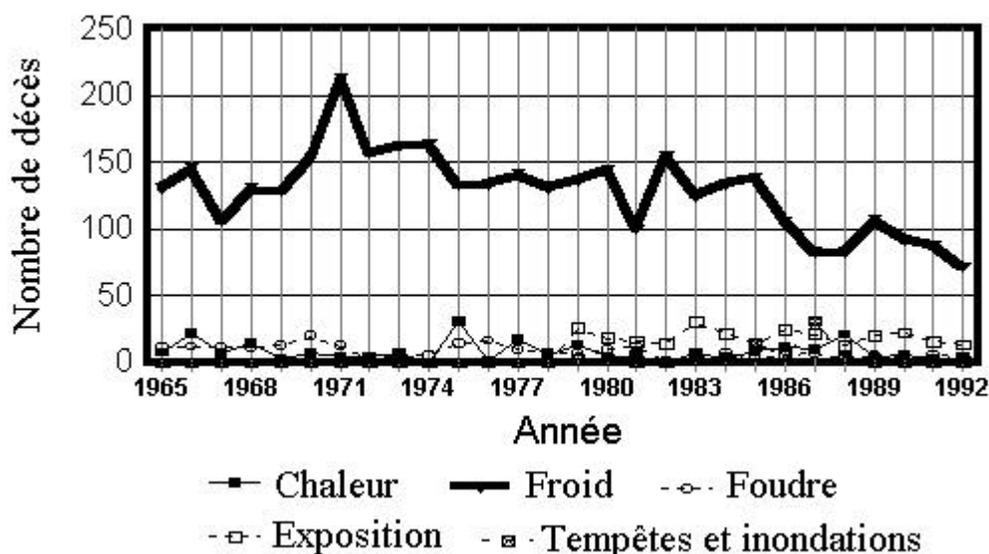
Source : Statistique Canada

Figure 2.12 Heures de travail perdues au travail en raison du mauvais temps, population ajustée à 1995



Source : Statistique Canada

Figure 2.13 Décès dus aux risques naturels, population ajustée à 1995



Source : Statistique Canada

Coûts économiques

Les risques naturels entraînent deux types de coûts fondamentaux :

- **Coûts d'adaptation** – coûts liés à notre protection contre les risques (p. ex., les codes de construction et les barrages).
- **Coûts liés aux impacts, à la réaction et à la récupération** – coûts supportés par la société quand la protection est insuffisante.

Coûts d'adaptation

Il est difficile d'évaluer les coûts d'adaptation et les recherches sur le sujet sont rares. Une estimation préliminaire de ces coûts au Canada est présentée au tableau 2.5; le total y figurant est probablement sous-estimé (d'un montant inconnu) puisqu'il n'est pas complet.

Coûts liés aux impacts

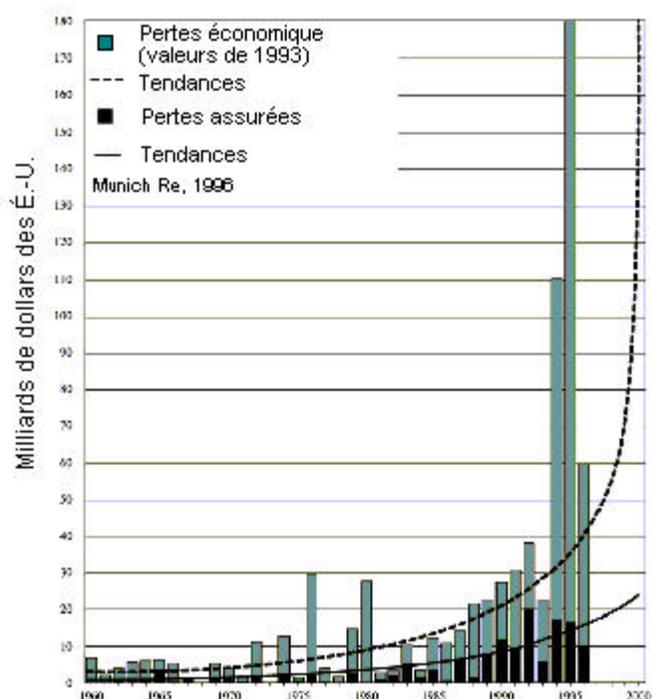
À l'étranger :

Sur le plan économique, les risques naturels indiquent des tendances inquiétantes. La figure 2.14 (Swiss Re., 1994) précise les données mondiales (on remarque l'augmentation des dernières décennies). Cette augmentation est attribuable (1) à la croissance de la population, (2) à la migration de celle-ci vers des zones plus dangereuses, comme les côtes, (3) à l'augmentation de la richesse dans de nombreux pays et (4), peut-être, à l'augmentation du nombre de phénomènes dangereux.

Tableau 2.5 Coûts d'adaptation

Secteur	Dépenses annuelles (en milliards \$)
Transport	1,7
Construction	4,0
Agriculture	1,3
Foresterie	0,4
Eau	0,8
Habitation	5,3
Préparation aux situations d'urgences	0,01
Services météorologiques	0,2
Total	13,7

Figure 2.14 Pertes économiques et assurées associées aux catastrophes naturelles majeures entre 1960 et 1996 et tendance jusqu'à l'an 2000



Les États-Unis estiment que les risques naturels leur coûtent environ un milliard de dollars par semaine (National Science and Technology Council, 1996), et certains des phénomènes les plus importants, comme l'ouragan Andrew (qui a entraîné la faillite de compagnies d'assurance) et le séisme de Northridge, ont eu des conséquences massives. Il importe de noter que Changnon *et al.* (1996) ont constaté une tendance constante à la hausse dans les 707 catastrophes ayant coûté de

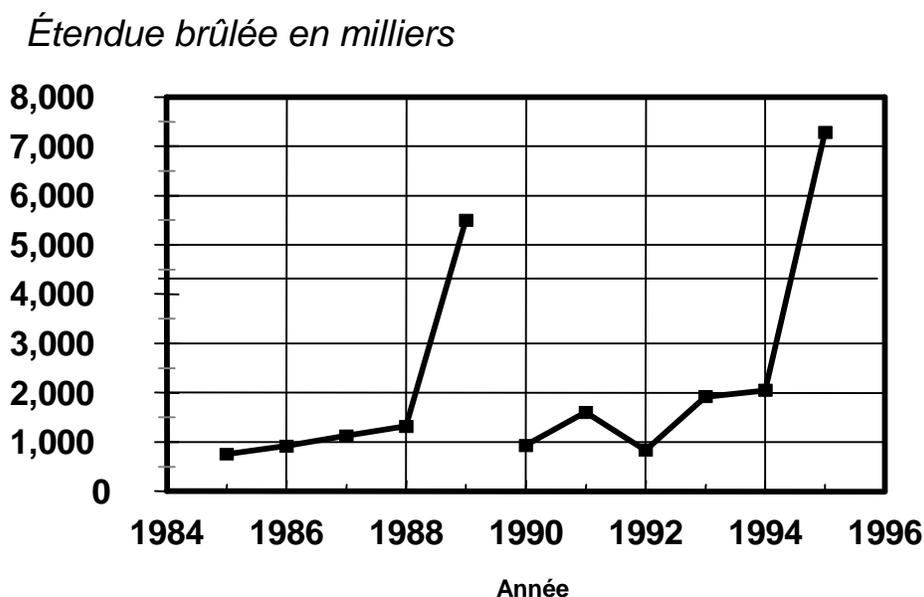
10 à 100 millions de dollars survenues aux États-Unis de 1949 à 1994, non pas en raison des fluctuations météorologiques, mais à cause des changements de la population ou des cibles. Les catastrophes coûtant plus de 100 millions n'ont pas montré cette augmentation temporelle, mais concordent bien avec les facteurs météorologiques – et non avec les changements de la population. Le séisme de Kobe, au Japon, a établi une nouvelle norme quant aux coûts éventuels des risques naturels, avec environ 100 milliards de dollars (les chiffres varient légèrement selon la source). Le tableau 2.2a présente un résumé des coûts récents liés aux risques naturels aux États-Unis.

Coûts économiques des risques naturels au Canada

Incendies de forêt

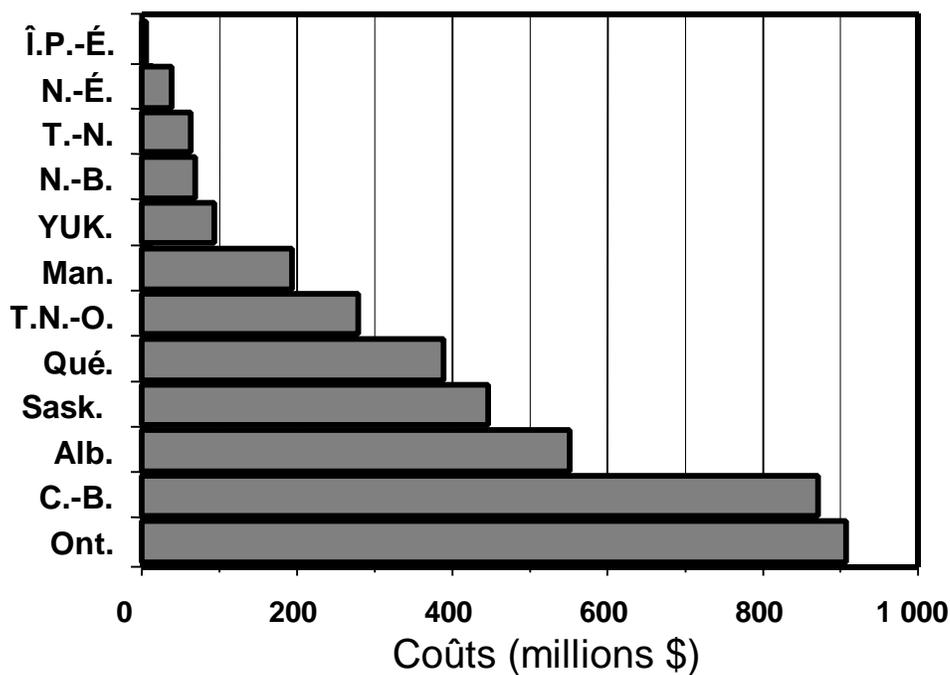
Les incendies de forêt peuvent avoir des conséquences directes par la perte de ressources naturelles, bien qu'on ne sache pas exactement comment les considérer car ils font partie intégrante du cycle écologique naturel. La figure 2.15 indique la superficie forestière brûlée de 1986 à 1995 au Canada. Il importe de noter que 1995 est de loin la pire année, plus de 7 millions d'hectares ayant été dévorés par les flammes, suivie de 1989. Les données indiquent une tendance à la hausse de la superficie brûlée, statistique reliée au temps, mais aussi aux décisions relatives à la lutte contre les incendies. Toutes les provinces supportent des coûts liés à la gestion des incendies, précisés à la figure 2.16. De 1985 à 1995, l'Ontario y a consacré plus de 800 millions de dollars, soit plus que toute autre province. Les coûts annuels de gestion des incendies sont indiqués à la figure 2.17 et sont les plus élevés en 1995, soit plus de 450 millions de dollars.

Figures 2.15 Incendies de forêt au Canada : étendue brûlée



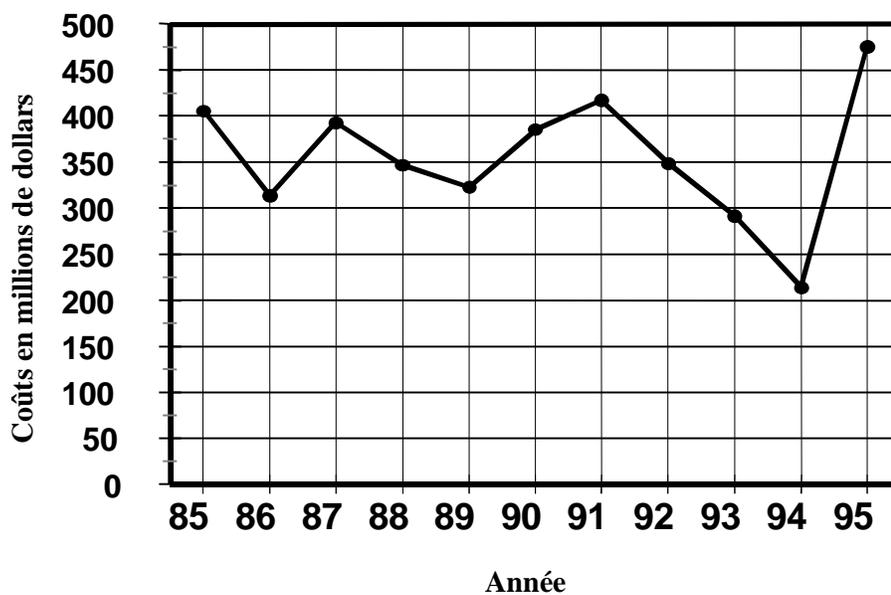
Source : Interagence canadienne de lutte contre les incendies de forêt

Figure 2.16 Coûts de gestion des incendies de 1985 à 1995, ajustés en dollars de 1995



Source : Interagence canadienne de lutte contre les incendies de forêt

Figure 2.17 Coûts de gestion des incendies, ajustés en dollars de 1995

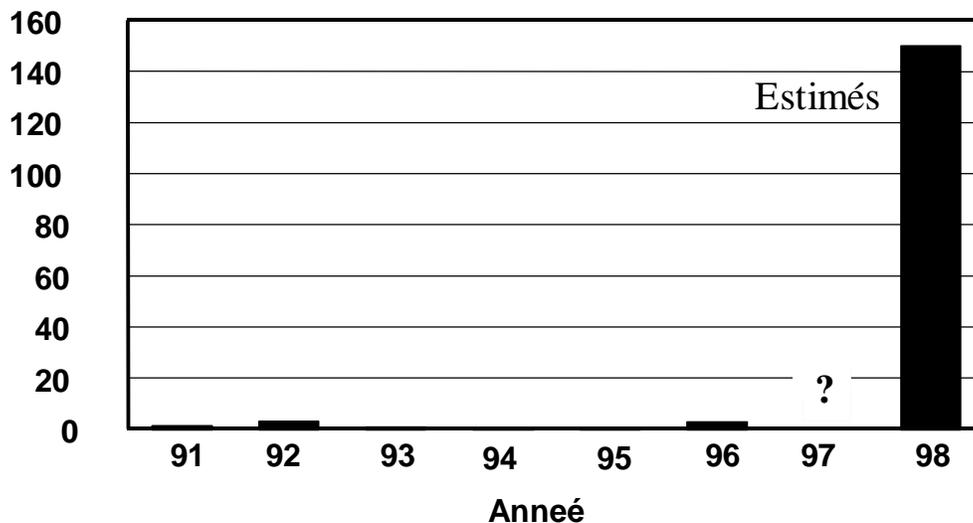


Source : Interagence canadienne de lutte contre les incendies de forêt

Compagnies d'hydroélectricité

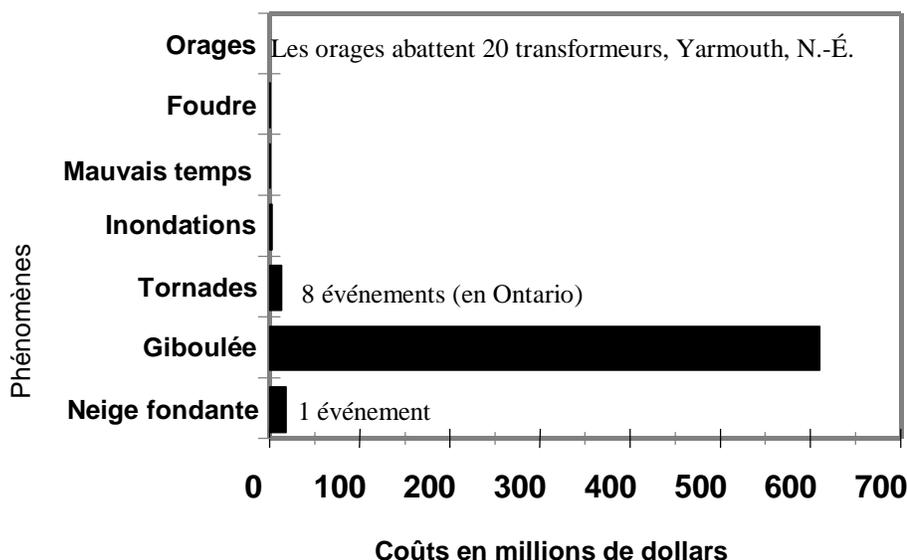
Nous avons consulté les compagnies provinciales d'hydroélectricité afin de nous renseigner sur les conséquences des risques naturels. C'est Ontario Hydro qui nous a fourni la documentation la plus complète, mais uniquement sur les événements plus importants, dont les coûts sont indiqués à la figure 2.18. Les coûts annuels varient de zéro à 3 millions de dollars, pour une moyenne annuelle de 1,4 million. La figure 2.19 présente une ventilation partielle des coûts, par risque, selon diverses compagnies. Ces données sont TRÈS incomplètes, et fournies seulement pour donner une vue d'ensemble. Le risque le plus coûteux est la combinaison de « neige mouillée et vents forts », dont le coût total a été dû à un seul événement, à Vegreville et Lloydminster, en Alberta. Cette tempête de deux jours a détruit 108 tours de transmission en acier, 300 structures de transmission en bois et plus de 3 000 poteaux de distribution en bois. En outre, on a dû remplacer plus de 250 milles de câbles. Les tornades (8) viennent en deuxième place en ce qui a trait aux coûts, bien qu'elle proviennent toutes de la liste d'Ontario Hydro. Il ne fait aucun doute que les tours des Prairies ont dû subir des dommages à cause des tornades, mais l'on ne dispose d'aucune information à ce sujet. Les coûts de la tempête de verglas de 1998 ne sont pas encore documentés, mais pourraient bien se chiffrer en centaines de millions de dollars pour Ontario Hydro et Hydro-Québec.

Figures 2.18 Coûts associés au temps assumés par Ontario Hydro, ajustés en dollars de 1995. (La tempête de verglas de 1998 rend les coûts antérieurs presque insignifiants.)



Source : Ontario Hydro

Figure 2.19 Coûts associés au temps assumés par les compagnies d'électricité, ajustés en dollars de 1995



Source : Perspectives climatiques, Ontario Hydro, B.C. Hydro and Power Authority, Nfld. Light and Power Company, Canadian Geographic. Remarque : Cette liste est très incomplète, mais elle comprend un estimé de la tempête de verglas de janvier 1998 (environ 150 millions pour Ontario Hydro et 500 millions pour Hydro Québec en dollars de 1998).

La figure 2.20 présente les montants versés par PCC aux provinces, de 1970 à 1996. Ces montants ne tiennent pas compte de 19 événements non réglés et les coûts non répertoriés après le 31 mars 1996, notamment la grêle dans les Prairies, les inondations du Saguenay, en juillet 1996, et de la rivière Rouge, au printemps 1997, et la tempête de verglas de janvier 1998. Selon une estimation grossière, les inondations du Québec ont coûté 280 millions de dollars au gouvernement fédéral et celles de la rivière Rouge 150 millions; la tempête de verglas sur l'est de l'Ontario et sur le Québec pourrait bien coûter des centaines de millions de dollars (Chris Tucker, comm. pers.). Le total vérifié s'élève à 425 millions (16 millions par année), et les paiements de PCC à 263 millions (10 millions par année), en dollars de 1995.

La figure 2.21 donne la ventilation de ces coûts par province. C'est le Québec qui a reçu le soutien le plus important (environ 134 millions en dollars de 1995, soit 32 % des remboursements, montant qui pourrait s'élever à 414 millions si l'on tient compte des inondations du Saguenay). Le Manitoba vient ensuite avec 83 millions (20 %), et l'Ontario en dernière place, avec 75 000 \$ (près de 0 %).

Figure 2.20 Paiements par PCC entre 1970 et 1998, ajustés en dollars de 1995. Les premiers estimés pour les inondations de la rivière Rouge et du Saguenay et de verglas de l'Ontario et du Québec sont inclus. (Source : Protection Civile Canada)

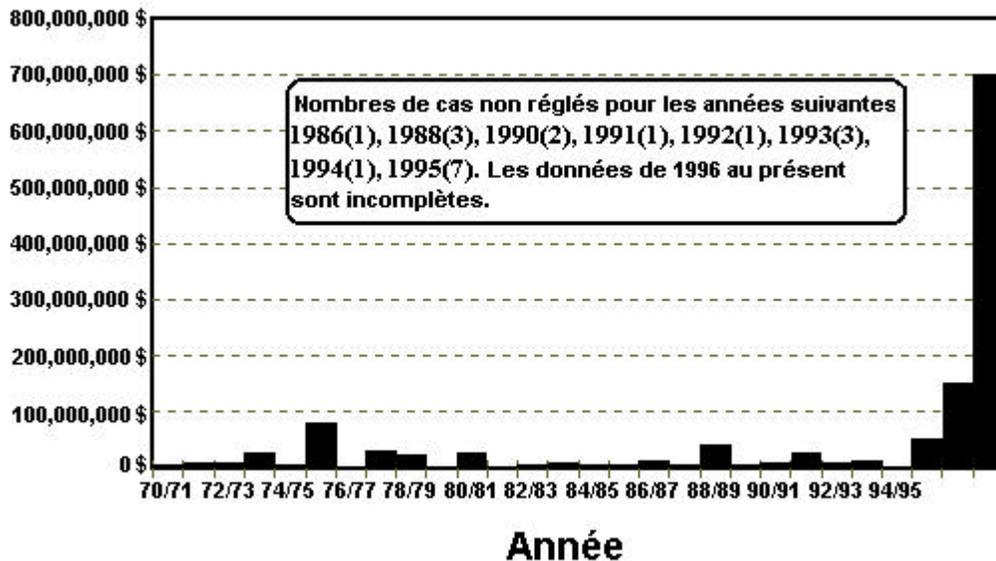
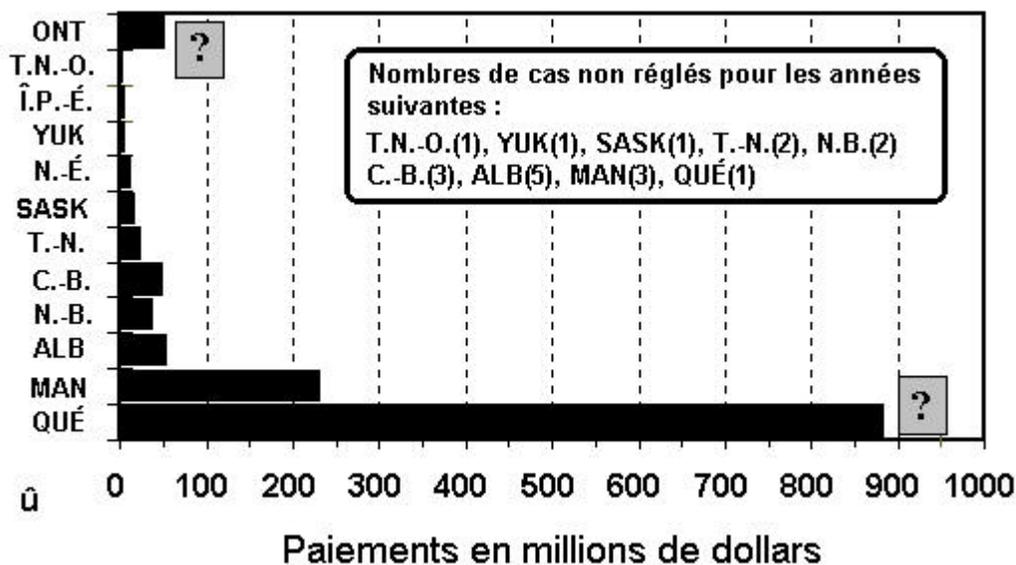
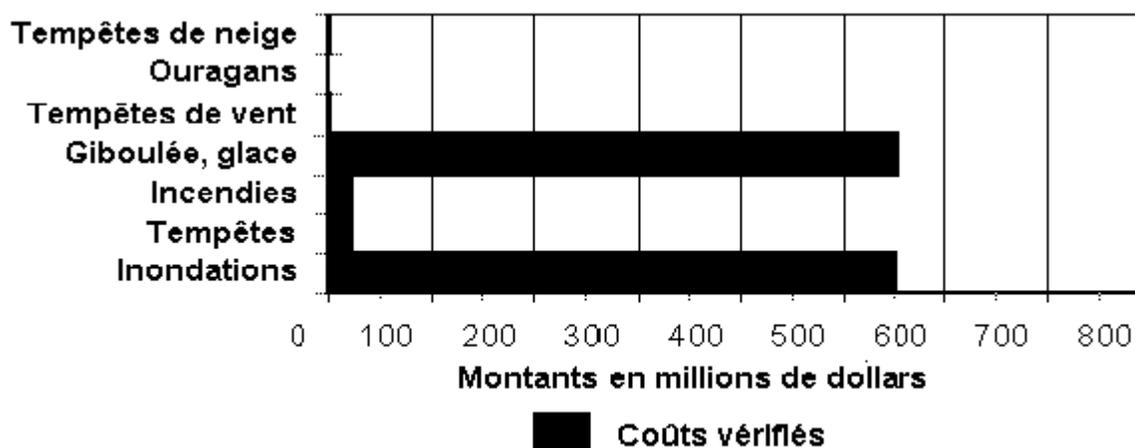


Figure 2.21 Paiements aux provinces par la PCC de 1970 à janvier 1998, ajustés en dollars de l'année financière 1995-1996. Les premiers estimés pour les inondations de la rivière Rouge et du Saguenay et de verglas de l'Ontario et du Québec sont inclus. Les données à partir de 1996 sont incomplètes. (Source : Protection Civile Canada)



La figure 2.22 montre les paiements versés par type de risque. Les inondations sont de loin les plus coûteuses, avec un total vérifié de plus de 300 millions de dollars et des indemnités fédérales de 150 millions (73 % du total en dollars non ajustés). Les tempêtes et les incendies arrivent deuxième, avec environ 11 % chacun. La catastrophe du Saguenay rend les inondations encore plus importantes par comparaison.

Figure 2.22 Paiements de la PCC versés par type de risque de 1970 à 1998, en dollars non ajustés. Les données après 1995 sont incomplètes mais incluent les coûts estimatifs des inondations du Saguenay et de la rivière Rouge ainsi que de la tempête de verglas.



Ass

urance-récolte

Les provinces supportent des coûts en raison des dommages causés aux récoltes par la grêle, les inondations, la sécheresse et différents autres phénomènes. La figure 2.23 précise les coûts provinciaux annuels moyens. La Saskatchewan supporte les coûts les plus élevés, soit plus de 130 millions de dollars par année (dollars de 1995). Les récoltes perdues au Manitoba coûtent environ 30 millions de dollars par année, comme le montre la figure 24, indiquant les coûts par risque. La sécheresse est le pire des phénomènes, ayant coûté près de 400 millions en dollars (de 1995) de 1966 à 1994, suivie de l'humidité excessive, de la grêle, de la chaleur et du gel. Les autres phénomènes sont beaucoup moins coûteux. Les coûts varient beaucoup d'une année à l'autre, comme l'indique la figure 2.25a-d. La dépense annuelle la plus importante a été enregistrée en Saskatchewan, soit plus de 550 millions en dollars de 1995.

(Sources : BC Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Alberta Hail and Crop Insurance Corporation, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario, Société d'assurance-récolte du Manitoba, Commission de l'assurance-récolte du Nouveau-Brunswick.)

Figure 2.23 Paiements provinciaux d'assurance-récolte (moyenne annuelle : près de 328 millions en dollars de 1995). Ces programmes ont débuté en 1959 au Manitoba mais seulement en 1974 au Nouveau-Brunswick.

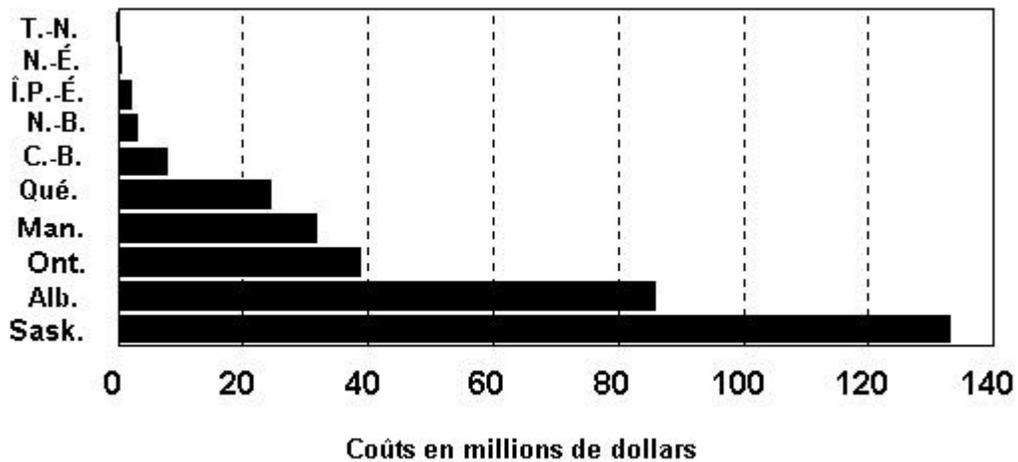


Figure 2.24 Pertes de récolte par risque au Manitoba entre 1966 et 1994, ajustées en dollars de 1995

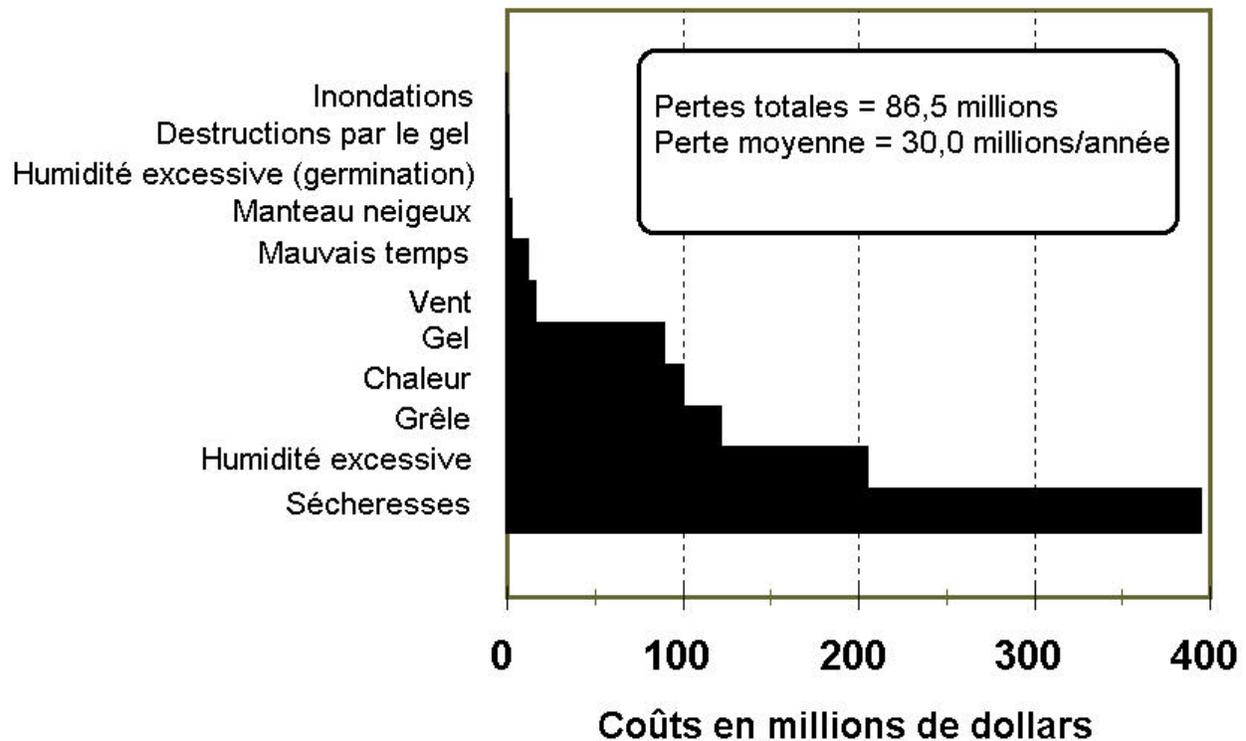


Figure 2.25a Paiements de l'assurance-récolte du Manitoba, ajustés en dollars de 1995

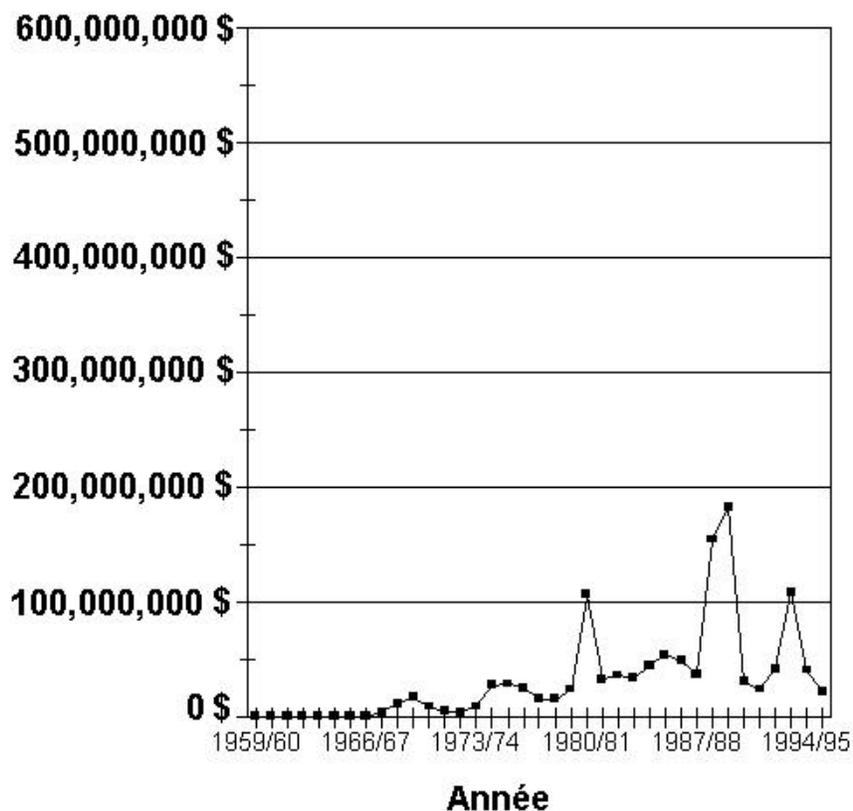


Figure 2.25b Paiements de l'assurance-récolte de l'Ontario, ajustés en dollars de 1995

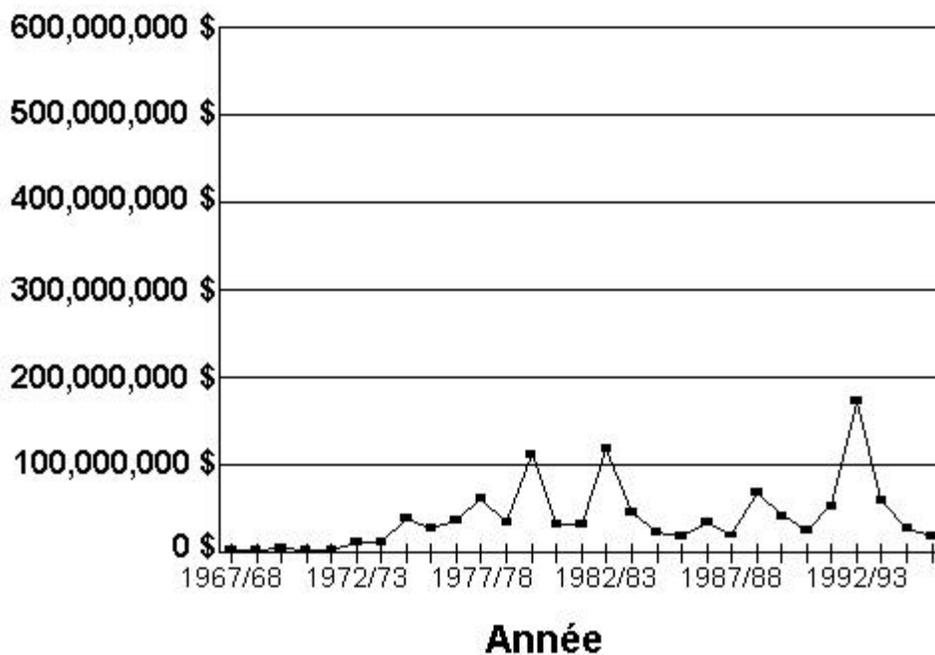


Figure 2.25c Paiements de l'assurance-récolte du Québec, ajustés en dollars de 1995

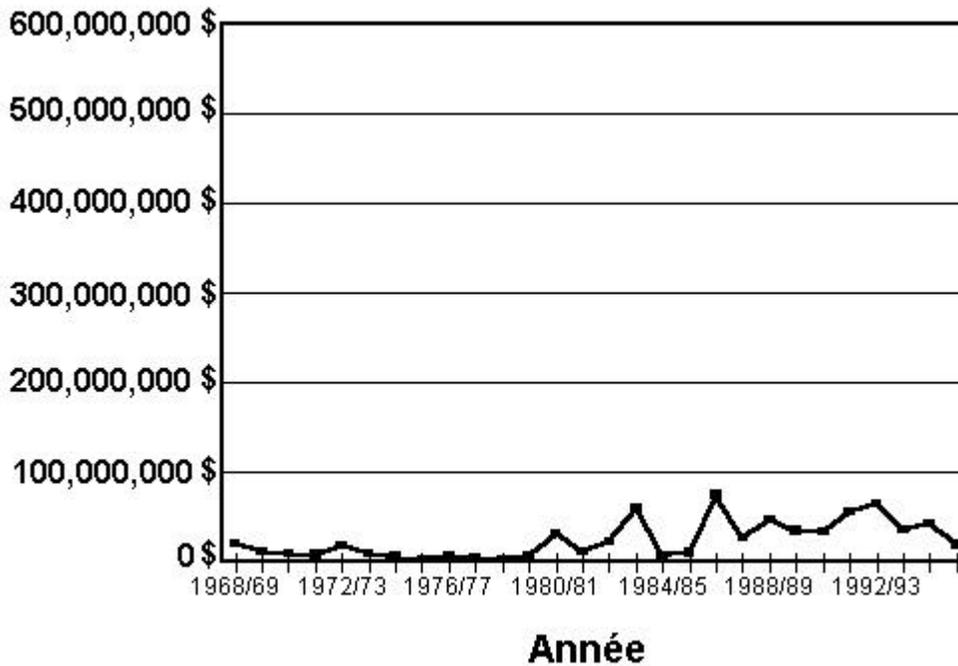
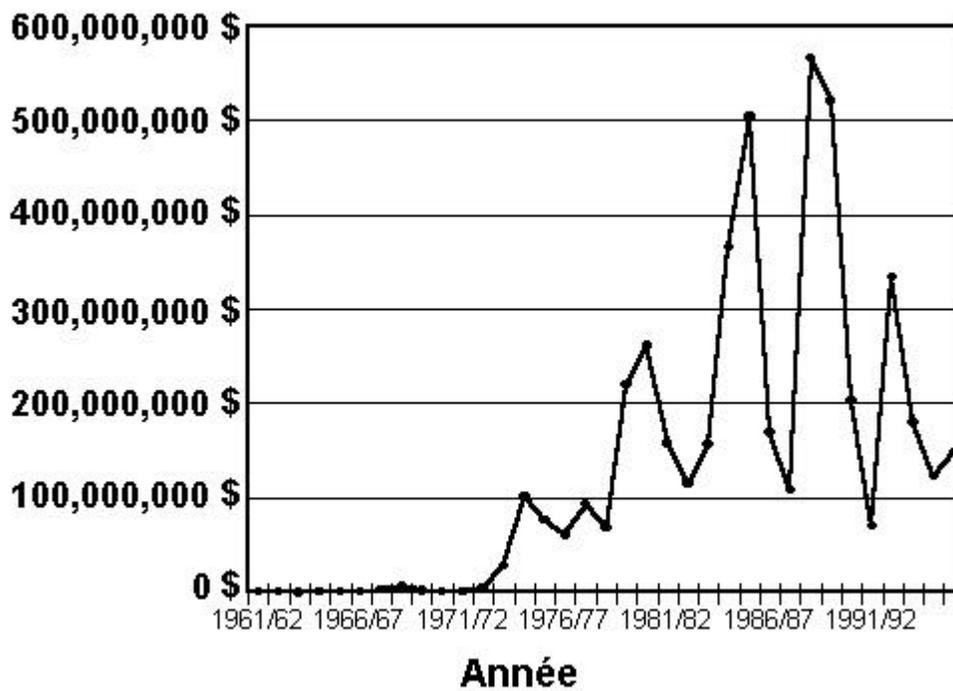


Figure 2.25d Paiements de l'assurance-récolte de la Saskatchewan, ajustés en dollars de 1995



Aide financière en cas de catastrophe

Toutes les provinces ont des programmes d'aide financière en cas de catastrophe (AFC). Les données sur les coûts connexes sont très incomplètes et nécessitent des recherches plus approfondies. On sait que des 93 millions, en dollars de 1995, versés par le Comité manitobain d'aide aux sinistrés de 1974 à 1995, 73 % étaient pour des inondations, 18 % pour des incendies, 7 % pour des tornades et le reste pour des accidents divers. La récente inondation de la rivière Rouge soulignera encore plus ce risque. La totalité des 74 millions de dollars versés par la Colombie-Britannique de 1990 à 1995 a servi à couvrir des pertes dues aux inondations. En Alberta, sur les 260 millions, en dollars de 1995, versés de 1986 à 1995, 89 % étaient destinés à des victimes d'inondations et 9 % à des victimes de sécheresses.

Coûts assurés

Le sommaire des coûts supportés par l'industrie de l'assurance est fourni par le Bureau d'assurance du Canada. La figure 2.26 indique le coût représenté par de nombreux remboursements d'importance de 1983 à 1994 (Bureau d'assurance du Canada, 1996). Ces données ne tiennent pas compte des événements de moins de 4 millions de dollars, ce qui indique que le coût réel est beaucoup plus élevé, mais on ignore de combien. C'est la grêle (fig. 2.27) qui a causé le plus de dommages (plus de 450 millions), suivie des tornades, des inondations, des tempêtes et du vent. Il semble y avoir eu 9 événements en 1995 (Alan Pang, comm. pers.), avec des dommages importants causés par les inondations, la grêle, les orages, le vent et l'ouragan Hortense. Il y a eu deux tempêtes de grêle en Alberta et un orage en Ontario, chaque événement étant estimé à plus de 25 millions de dollars. On prévoit que l'ouragan Hortense coûtera environ 3 millions de dollars. Les tempêtes de grêle de juillet 1996 à Calgary et à Winnipeg devraient coûter 295 millions de dollars au total (Alan Pang, comm. pers.). Avant la tempête de verglas, la pire catastrophe assurée au Canada était la tempête de grêle de Calgary de 1991, qui a coûté environ 400 millions. Quant aux inondations du Saguenay, on estime qu'elles ont coûté de 350 à 400 millions. La tempête de verglas pourrait coûter à l'industrie jusqu'à 1,5 milliard de dollars.

Figure 2.26 Coûts assurés associés au mauvais temps provenant de paiements majeurs multiples, ajustés en dollars de 1995

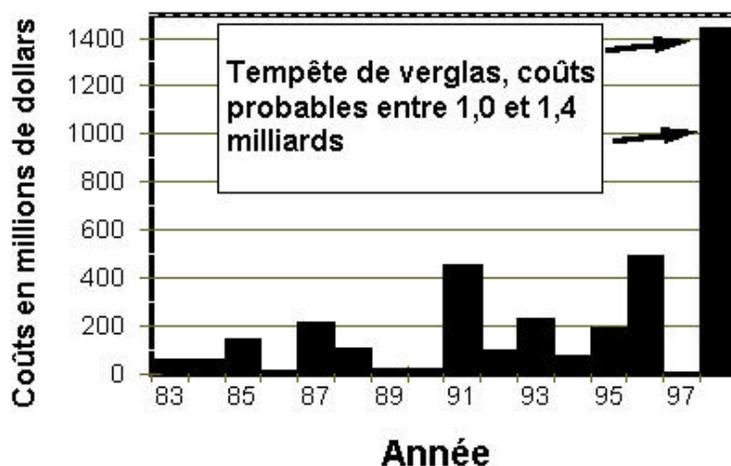
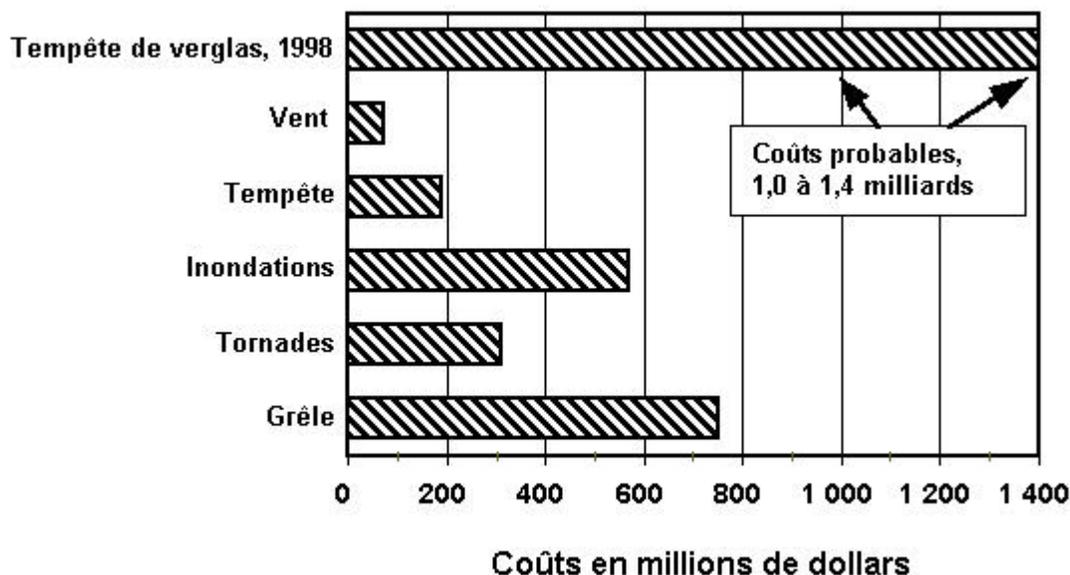


Figure 2.27 Coûts assurés associés au mauvais temps, entre 1984 et 1996, provenant de paiements majeurs multiples, ajustés en dollars de 1995



Municipalités

Bien qu'il y ait très peu d'informations sur les coûts pour les municipalités, on trouvera ci-après quelques statistiques, en dollars non ajustés :

Municipalité régionale d'Ottawa-Carleton :

- Hiver 1993-1994 : 2,5 millions en raison du gel record subi par les services d'eau.
- Hiver 1995-1996 : Coûts inconnus entraînés par des cycles de gel-dégel causant des nids de poule.
- Printemps 1993 : Gel hivernal profond ayant causé un glissement de terrain, 400 000 \$. Mise en vigueur d'un programme de prévention, au coût de 40 000 \$ par année.

Municipalité de St. Catharines :

La ville a récemment connu une augmentation du nombre des orages violents (depuis 1994), causant des problèmes d'inondation. L'un des événements, survenu les 10 et 11 juin 1996, a entraîné l'inondation de centaines de sous-sols.

Municipalité de Calgary :

- Tempête de pluie et de grêle en 1991 : dommages de 1,5 million pour la ville (1,2 million payé par les assurances).
- Printemps 1995 : graves débordements de rivières, entraînant des dommages de 350 000 \$ aux biens de la ville comme les parcs, les sentiers et les ponts.
- Un rapport municipal précise les dommages prévus à cause des inondations à Calgary (tableau 2.6).

Tableau 2.6 Dommages prévus à cause des inondations fluviales (millions de dollars de 1993)

Période de retour (années)	25	50	100
Rivière Elbow	46,3 \$	73,9 \$	93,3 \$
Rivière Bow	5,6 \$	20,8 \$	38,5 \$

Coûts cumulatifs des risques

Le cumul de tous les coûts des différents risques serait une synthèse intéressante. Cependant, pratiquement aucune étude ne comprend un tel résumé, et la présente analyse ne peut prétendre combler cette lacune, bien que les données laissent penser que les coûts imputables aux catastrophes soient en train de monter. Il est clair que l'importance des inondations a été démontrée et mise en lumière lors des récentes catastrophes du Saguenay et de la rivière Rouge. Le coût des sécheresses peut aussi être très grand, quoique moins spectaculaire (la sécheresse est un phénomène lent, contrairement aux inondations). Par exemple, Wheaton et Arthur (1989) estiment le coût de la sécheresse de 1988 à 1,8 milliard de dollars (non ajustés), ou 0,4 % du PIB réel. Les autres grandes sécheresses sont celles de 1978-1979 (2,5 milliards), 1980 (2,5 milliards), 1984 (1 milliard), 1985 (50 millions) et 1990 (96 millions). (*Remarque : Les coûts des sécheresses sont estimés et doivent être examinés plus en détail pour en confirmer l'exactitude.*) Les tempêtes de verglas risquent aussi d'entraîner des catastrophes dévastatrices dont les coûts se chiffrent en milliards de dollars.

Les catastrophes et les fléaux naturels sont coûteux, mais pas inévitables. Avec une planification appropriée, visant à réduire la vulnérabilité de la société, on pourra en atténuer les conséquences sociales et économiques pour les Canadiens.

RECHERCHES NÉCESSAIRES

Plusieurs questions restent sans réponse dans l'état actuel des connaissances.

- 1) Combien en coûte-t-il au Canada pour s'adapter aux fléaux atmosphériques?
- 2) Combien en coûte-t-il au Canada quand les mesures d'adaptation échouent?
- 3) Quel est le lien entre la vulnérabilité de la société et les changements éventuels de la fréquence des événements extrêmes?

Il faut faire des recherches afin d'être en mesure de mieux répondre à ces questions. De telles recherches nécessiteraient la création de bases de données socio-économiques sur les conséquences des phénomènes extrêmes, la détermination des coûts des mécanismes d'adaptation et la réalisation d'analyses de la vulnérabilité.

RÉFÉRENCES

- Agee, M. (1991). Trends in Cyclone and Anticyclone Frequency and Comparison with Periods of Warming and Cooling over the Northern Hemisphere. *Journal of Climate* 4, p. 263-267.
- Balling, R.C. and M.P. Lawson (1982). Twentieth Century Changes in Winter Climatic Regions. *Climatic Change* 4, p. 57-69.
- Barrow, E.M. and M. Hulme (1996). Changing Probabilities of Daily Temperature Extremes in the UK Related to Future Global Warming and Changes in Climate Variability, *Climate Research* 6, p. 21-31.
- Blaikie, P., T. Cannon, I. Davis and B. Wisner (1994). *At Risk, Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*.
- Broccoli, A.J and S. Manabe (1990). Can Existing Climate Models be Used to Study Anthropogenic Changes in Tropical Cyclone Climate. *Geophysical Res. Letters* 17(11), p. 1917-1920.
- Broecker, W.S. (1995). Chaotic Climate. *Scientific American*, Nov. 1995, p. 62-68.
- Burton, I. (1994). Costs of Atmospheric Hazards. In *Proceedings of a Workshop on Improving Responses to Atmospheric Extremes: The Role of Insurance and Compensation*, J. McCulloch and D. Etkin, editors, Toronto, Environment Canada, p. 2-1 to 2-11.
- Carnell, R.E., C.A. Senior and J.F.B. Mitchell (1996). An Assessment of Measure of Storminess: Simulated Changes in Northern Hemisphere Winter Due to Increasing CO₂. *Climate Dynamics* 12, p. 467-476.
- Changnon, S.A. and J.M. Changnon (1992). Temporal Fluctuations in Weather Disasters: 1950-1989. *Climatic Change* 22, p. 191-208.
- Changnon, S.A., D. Changnon, E.R. Fosse, D.C. Hoganson, R.J. Roth and J. Totsch, J. (1996). *Impacts and Responses of the Weather Insurance Industry to Recent Weather Extremes*. Changnon Climatologist, Mahomet, Illinois, 166 p.
- Columbo, A.F. (1997). *Climatic Warming and the Change in the Frequency of Extreme Temperature Events for Nine Sites in Canada*. Msc. Thesis, Dept. of Civil Engineering, U. of T., Toronto, Canada.
- Cubasch, U., J. Waszkewitz, G. Hegerl and J. Perlwitz (1995). Regional Climate Changes as Simulated in Time Slice Experiments. MPI Report 153. *Climate Change* 31, p. 273-304.
- Emmanuel, K.A. (1987). The Dependence of Hurricane Intensity on Climate. *Nature* 326, p. 483-484.

Emmanuel, K.A. (1995). Comments on « Global Climate Change and Tropical Cyclones »: Part 1. *BAMS*, 76(11), p. 2241-2244.

Evans, J.L. (1993). Sensitivity of Tropical Cyclone Intensity to Sea Surface Temperature. *Journal of Climate* 6, p. 1133-1140.

Etkin, D.A. (1995). Beyond the Year 2000, More Tornadoes in Western Canada? Implications from the Historical Record. *Natural Hazards* 12, p. 19-27.

Farhar-Pilgrim, B. (1985). Social Analysis, in Kates, R.W. et al. (eds.), *Climate Impact Assessment; Studies of the Interaction of Climate and Society*, p. 323-350.

Gordon, H.B., P.H. Whetton, A.B. Pittock, A.M. Fowler and M.R. Haylock (1992). Simulated Changes in Daily Rainfall Intensity Due to the Enhanced Greenhouse Effect: Implications for Extreme Rainfall Events. *Climate Dynamics* 8, p. 83-102.

Griffiths, D.J., J.R. Colquhoun, K.L. Batt and T.R. Casinadar (1993). Severe Thunderstorms in New South Wales: Climatology and Means of Assessing the Impact of Climate Change. *Climatic Change* 25, p. 369-388.

Haarsma, R.J., J.F.B. Mitchell. and C.A.Senior (1993). Tropical Disturbances in a GCM. *Climate Dynamics* 8, p. 247-257.

Hall, N.M.J., B.J. Hoskins, P.J. Valdes and C.A. Senior (1994). Storm Tracks in a High Resolution GCM with Doubled CO₂. *Quarterly Journal of the Royal Met. Society*, 120, p. 1209-1230.

Hansen, J., I. Fung, A. Lacis, D. Rind, S. Lebedoff, R. Ruedy and G. Russel, G. (1988). Global Climate Changes as Forecast by GISS's Three-Dimensional Model. *J. Geophys. Res.* 93, p. 9341-9364.

Held, I.M. (1993). Large-scale Dynamics and Global Warming. *BAMS*, 74(2), p. 228-241.

Hennessy, K.J. and A.B. Pittock (1995). Greenhouse Warming and Threshold Temperature Events in Victoria, Australia. *Int'l. J. Climatology* 15, p. 591-612.

Hogg, W.D. (1996). *Cycles and Trends in Time Series of Canadian Extreme Rainfall*, unpublished manuscript, Environment Canada, Downsview, 6 p.

Hughes, M.K and P.M. Brown (1992). Drought Frequency in Central California since 101 B.C. Recorded in Giant Sequoia Tree Rings. *Climate Dynamics* 6, p. 161-167.

Hulme, M. (1992). Rainfall Changes in Africa: 1931-1960 to 1961-1990. *Int. J. of Climatology* 12, p. 685-690.

Idso, S.B., R.C. Balling and R.S. Cerveny (1990). Carbon Dioxide and Hurricanes: Implications of Northern Hemispheric Warming for Atlantic/Caribbean Storms. *Met. and Atmos. Physics* 42, p. 259-263.

IPCC (1995). *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and Mitigation. Summary for Policy makers*. Contributions of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, WMO and UNEP.

IPCC (1995). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (eds), Cambridge University Press.

Jones R.L., (1991). Canadian Disasters: An historical survey. *Natural Hazards* 5, p. 43-51.

Jones, R.L., (1995). Communication personnelle. Environnement Canada.

Khandekar, M.L. and V.R. Swail (1995). Storm Waves in Canadian Waters: A Major Marine Hazard, *ATMOSPHERE-OCEAN* 33(2), p. 303-328.

Karl, T.R., R.W. Knight, D.R. Easterling and R.G. Quayle (1995). Trends in U.S. Climate During the Twentieth Century. *Consequences (Saginaw Valley State University)*, 1(1), p. 2-12.

Karl, T.R., R.W. Knight and N. Plummer (1995). Trends in High Frequency Climate Variability in the Twentieth Century, *Nature* 377, p. 217-220.

Katz, R.W. and B.G. Brown (1992). Extreme Events in a Changing Climate: Variability is More Important than Averages. *Climatic Change* 21, p. 289-302.

Kearney, A. R. (1994, Understanding Global Change: A Cognitive Perspective on Communicating Through Stories, *Climatic Change* 27, p. 419-441.

Khandekar, M.L. and N. Plummer (1995). Trends in High Frequency Climate Variability in the Twentieth Century, *Nature* 377, p. 217-220.

Kurz, W.A. and M.J. Apps (1996). *Retrospective Assessment of Carbon Flows in Canadian Boreal Forests* NATO ASI Series, Vol. I 40, p. 173-182.

Laird, K.R., S.C. Fritz, K.A. Maasch and B.F. Cumming (1996). Greater drought intensity and frequency before AD 1200 in the Northern Great Plains, USA. *Nature* 384, p. 552-554.

Lambert, S.J. (1995). The Effect of Enhanced Greenhouse Warming on Winter Cyclone Frequencies and Strengths. *Journal of Climate* 8, p 1447-1452.

Lambert, S.J. (1996). Intense Extratropical Northern Hemisphere Winter Cyclone Events: 1899-1991. *Journal of Geophysical Research* 101(D16) p. 21, 319-21, 325.

Landsea, C.W., N. Nicholls, W.M. Gray, and L.A. Avila (1996). Downward trends in the frequency of intense Atlantic hurricanes during the past five decades. *Geo. Res. Letters* 23, p. 1697-1700.

Lawford, R.G., T.D. Prowse, W.D. Hogg, A.A. Warkentin and P.J. Pilon (1995). Hydrometeorological Aspects of Flood Hazards in Canada. *ATMOSPHERE OCEAN* 33(2), p. 303-328.

Leathers, D.J. and A.W. Ellis (1996). Synoptic Mechanisms Associated with Snowfall Increases to the Lee of Lakes Erie and Ontario, *International Journal of Climatology* 16, p. 1117-1135.

Lighthill, J., G. Holland, W. Gray, C. Landsea, G. Craig, J. Evans, Y. Kurihara and C. Guard (1994). Global Climate Change and Tropical Cyclones. *BAMS*, 75(11), p. 2147-2157.

Manabe, S and R.J. Stouffer (1988). Two Stable Equilibria in a Coupled Ocean-Atmosphere Model. *J. Climate* 1, p. 841-866.

Maybank, J., B. Bonsal, K. Jones, R. Lawford, E.G. O'Brian, E.A. Ripley and E. Wheaton, E. (1995). Drought as a Natural Disaster. *ATMOSPHERE-OCEAN* 33(2), p. 195-222.

Mearns, L.O., R.W. Katz and S.H. Schneider (1984). Extreme High-Temperature Events: Changes in their Probabilities with Changes in Mean Temperature. *Journal of Climate and Applied Met.* 23, p. 1601-1613.

Mearns, L.O., F. Giorgi, L. McDaniel and C. Shields (1995). Analysis of Variability and Diurnal Range of Daily Temperature in a Nested Regional Climate Model (Comparison with Observations and Doubled CO₂ Results. *Climate Dynamics* 11, p. 193-209.

Meehl, G .A. (1993). Changes of Variability in a Climate with Increased CO₂ (El Nino-Southern Oscillation and the Asian Summer Monsoon. In Tol (1993).

Mitchell, J.F.B. and W.J. Ingram (1990). On CO₂ and Climate. Mechanisms of Changes in Cloud. *J. Climate* 5, p. 5-21.

Munich Re. (1996). Annual Review of Natural Catastrophes 1995. Extract from the Pre-print, 7.

National Science and Technology Council (1996). *Natural Disaster Reduction : A Plan for the Nation*. The White House, Washington, USA.

Noda, A. and T. Tokioka (1989). The Effect of Doubling CO₂ Concentration on Convective and Non-convective Precipitation in a General Circulation Model Coupled with a Simple Mixed Layer Ocean. *J. Met. Soc. Japan* 67, p. 95-110.

Oladipo, E.O. (1993). Drought in Northern Nigeria : An Indication of Abrupt Climatic Change. *Weather and Climate* 13, p. 34-39.

Parey, S. (1994). Simulations de trente ans 1XCO₂, 2XCO₂, 3XCO₂ avec le modèle du LMD (64X50X11) premiers résultats. EDF, Direction des Études et Recherches, HE-33/94/008.

Pielke Jr., R.A. and C.W. Landsea (1997). Normalized Hurricane Damages in the U.S. (1925-1995) NCAR Draft paper.

Price, C. and D. Rind (1993). *Lightning fires in a 2xCO₂ world*. In, Proceedings of the 12th Conference on Fire and Forest Meteorology, Oct. 26-28, Jekyll Is., Georgia, p. 77-84.

Rebetez, M. (1996). Public Expectation as and Element of Human Perception of Climate Change. *Climatic Change* 32, p. 495-509.

Rind, D., R. Goldberg and R. Ruedy (1989). Change in climate Variability in the 21st Century. *Climate Change* 14, p. 5-38.

Ross, A. (1996). « *Climatic change and its impact on the Canadian insurance industry* », seminar delivered at the Institute for Environmental Studies, University of Toronto, February 29th.

Ross, R.J. and W.P. Elliot (1996). Tropospheric Water Vapor Climatology and Trends over North America (1973-93, *Journal of Climate* 9, p. 3561-3574.

Rowntree, P. (1993). Workshop on « *Socio-Economic and Policy Aspects of Change of Incidence and Intensity of Extreme Weather Events* », Institute for Environmental Studies, W93/15, Free University, Amsterdam, June 24-25, 1993.

Ryan, B.F., I.G. Watterson and J.L. Evans (1992). Tropical Cyclone Frequencies Inferred from Gary's Yearly Genesis Parameter (Validation of GCM Tropical Climates. *Geophysical Research Letters*, 19 (18), p. 1831-1834.

Skaggs, R.H., D.G. Baker and D.L. Ruschy (1995). Interannual Variability Characteristics of the Eastern Minnesota (USA) Temperature Record (Implications for Climate Change Studies. *Climate Research* 5, p. 223-227.

Slivitzky, M. and G. Morin (1996). Impacts of Climatic Changes on the Hydrological Regime (the Moisie River Case Revisited. *CMOS Bulletin* 24(4), p. 77-81.

Smit, B. (1993). *Adaptation to Climatic Variability and Change*. Occasional Paper No. 19, University of Guelph, Dept. of Geography, 53 p.

Smith, D.I. (1993). Greenhouse Climatic Change and Flood Damages, The Implications. *Climatic Change* 25, p. 319-333.

Stehr, N. and H. von Storch (1995). The Social Construct of Climate and Climate Change. *Climate Research* 5, p. 99-105.

Stein, O. and A. Hense (1994). A Reconstructed Time Series of the Number of Extreme Low Pressure Events Since 1880. *Meteorol. Zeitschrift, N.F. 3*, p. 43-46.

Street, R.B. (1989). *Climate change and forest fires in Ontario*. In Proceedings, 10th Conference on Fire and Forest Meteorology, Ottawa, Ontario, p. 177-181.

Swiss Re. (1994). *Global Warming: Element of Risk*. Zurich.

Tol, R.S.J. (Editor) (1993). *Socio-economic and Policy Aspects of Changes*; in The Incidence and Intensity of Extreme Weather Events, Institute for Environmental Studies, W93/15, Free University, Amsterdam, June 24-25.

Vance, R.E. (1991). *A Paleo-botanical Study of Holocene Drought Frequency in Southern Alberta*. Ph.D. Thesis, University of British Columbia, 180 p.

Wetherald, R.T. and S. Manabe (1995) The Mechanisms of Summer Dryness Induced by Greenhouse Warming, *Journal of Climate* 8, p. 3096-310.

Wheaton, E.E. and L.M. Arthur (1989). *Environmental and Economic Impacts of the 1988 Drought*, Vol. 1. SRC Publication No. E-2330-4-E-89.

Whetton, P.H.J., A.M. Fowler, M.R. Haylock and A.B. Pittock (1993). Implications of Climate Change due to the Enhanced Greenhouse Effect on Floods and Droughts in Australia. *Climatic Change* 25, p. 289-317.

White, G. G. (1985). *Perception*, in Kates, R.W. et al. (eds.), *Climate Impact Assessment: Studies of the Interaction of Climate and Society*, p. 403-436.

White, G. F. (1995). *A Perspective on Reducing Losses From Natural Hazards*. Institute of Behavioral Science, University of Colorado at Boulder, non publié.

Wigley, T.M.L. (1988). The Effect of Changing Climate on the Frequency of Absolute Extreme events. *Climate Monitor* 17, p. 44-55.

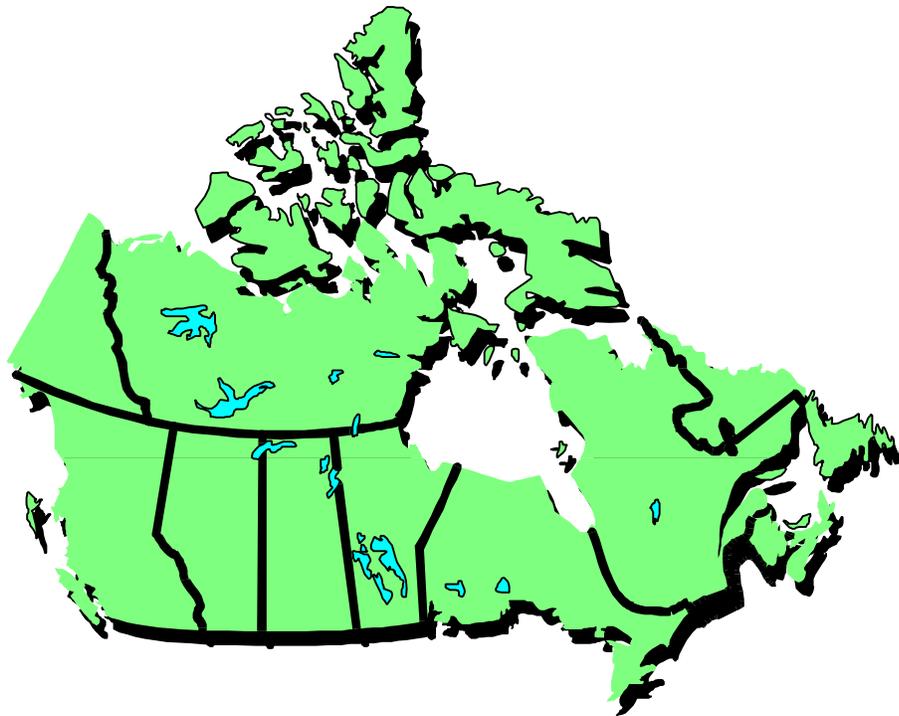
Wilson, C.A. and J.F.B. Mitchell (1987). Simulated Climate and CO₂ Induced Climate Change over Western Europe. *Climatic Change* 10, p. 11-42.

Zwiers, F.W. (1994). *Changes in Screen Temperature Extremes Under a Doubling of CO₂*. In G.J. Boer (editor), *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling*, 7.44-7.46, CAS/JSC Working Group Numerical Experimentation, Report 19, Feb., WMO/TD-No 592.

CHAPITRE TROIS

NÉCESSITÉ D'EFFECTUER DES ÉVALUATIONS INTÉGRÉES DES PROBLÈMES ATMOSPHÉRIQUES

Abdel Maarouf¹, Jamie Smith et Heather Alexander



1. Groupe de recherche en adaptation environnementale, Institut pour l'étude de l'environnement, Université de Toronto, 33, rue Willcocks, Toronto, Ontario M5S 3E8. Téléphone : (416) 978-6201, télécopieur : (416) 978-3884, courriel : abdel.maarouf@ec.gc.ca

RÉSUMÉ

Six problèmes atmosphériques sont actuellement évalués par les scientifiques et décideurs du Canada : le changement climatique, l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique, les dépôts acides, le smog, les matières particulaires en suspension et les polluants atmosphériques dangereux. Par le passé, chacun d'entre eux a été traité indépendamment des autres, et on a élaboré des politiques ciblées pour en ralentir ou en atténuer les impacts. Depuis quelques années, cependant, il est de plus en plus admis que tous les problèmes atmosphériques sont interreliés via des processus chimiques et physiques complexes comme les rétroactions, les décalages temporels et les synergies. Par exemple, en remplaçant les CFC, on peut ralentir l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique, mais les substances de remplacement peuvent contribuer au réchauffement planétaire. De même, les aérosols de sulfates et de nitrates causent des dépôts acides tout en réfléchissant une partie du rayonnement solaire vers l'espace, ce qui atténue quelque peu le réchauffement. Il faut en tirer un enseignement : les stratégies visant un problème atmosphérique en particulier ne sont pas nécessairement optimales pour l'ensemble. On recommande donc que soit élaborée une méthode intégrée « multi-problèmes » permettant d'évaluer les effets des stratégies proposées sur tous les problèmes atmosphériques, et pas seulement sur le changement climatique. De même, on devrait tenter d'adopter une méthode intégrée pour l'évaluation des impacts des stress atmosphériques multiples sur la santé humaine, les secteurs socio-économiques et les écosystèmes. Ces évaluations intégrées pourront offrir aux décideurs les outils nécessaires à l'élaboration de politiques bénéfiques pour le plus grand nombre. Enfin, on souligne que le manque d'une compréhension scientifique complète des interactions et des liens entre les divers problèmes atmosphériques ne devrait pas empêcher d'adopter dès maintenant des mesures d'atténuation et des stratégies d'adaptation qui sont considérées comme présentant peu de risques, justifiées pour d'autres raisons (principe de précaution) ou connues comme respectueuses de l'environnement (principe du sans-regret).

INTRODUCTION

Six problèmes atmosphériques figurent actuellement aux ordres du jour scientifique et politique du Canada : 1) changement climatique, 2) appauvrissement de l'ozone stratosphérique, 3) dépôts acides, 4) smog (essentiellement l'ozone troposphérique), 5) matières particulaires en suspension, et 5) polluants atmosphériques dangereux. Les atmosphéristes et décideurs du Canada et d'ailleurs ont généralement abordé ces problèmes séparément, ce qui a débouché sur des politiques ciblées (p. ex., le Protocole de Montréal et ses amendements visant à éliminer les substances destructrices de l'ozone stratosphérique. Bien que l'élimination des CFC ait des chances de ralentir l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique, les gaz utilisés pour les remplacer peuvent contribuer au réchauffement du climat. Dans le même ordre d'idées, les aérosols de sulfates causent des dépôts acides et diffusent le rayonnement solaire, ce qui atténue le réchauffement dans une certaine mesure. On reconnaît maintenant que tous les problèmes atmosphériques sont interreliés et qu'ils peuvent interagir, en s'aggravant ou en se compensant. Il faut donc mieux comprendre les relations entre ces problèmes pour pouvoir élaborer des politiques efficaces les visant dans leur ensemble (Munn, 1995, 1997).

Plusieurs travaux ont déjà mis en évidence la nécessité d'évaluations intégrées des impacts d'un problème atmosphérique unique sur une séquence de récepteurs (p. ex., l'effet des dépôts acides sur les lacs, les sols, la végétation et l'eau souterraine). Quelques études ont essayé de comprendre les plus importantes interactions entre diverses combinaisons de deux ou trois problèmes atmosphériques et leurs effets cumulés sur la biosphère et les systèmes écologiques et humains (p. ex., White, 1989; Krupa et Kickert, 1989; Schindler *et al.*, 1996; Yan *et al.*, 1996). Il y a également eu des tentatives pour examiner les interactions entre les connaissances scientifiques et les politiques pour plusieurs problèmes atmosphériques (SENES, 1996; Maarouf et Smith, 1997).

Puisque l'Étape I de l'ÉPC vise surtout le problème du changement climatique, ce chapitre donne plusieurs exemples des liens connus entre ce changement et les autres problèmes atmosphériques, et souligne le besoin d'une meilleure intégration de tous ces problèmes. On y met aussi en évidence les politiques issues de l'optique « problème unique » qui pourraient entrer en conflit et on formule des recommandations pour l'Étape II de l'ÉPC (Maarouf et Smith, 1997; Munn et Maarouf, 1997).

QUELS SONT LES PROBLÈMES ATMOSPHÉRIQUES?

On trouvera ci-dessous des considérations générales sur les six problèmes atmosphériques.

Changement climatique

Les augmentations des concentrations de gaz à effet de serre (GES) ont entraîné un forçage radiatif positif du climat, qui a tendance à réchauffer la surface de la Terre et à induire d'autres changements climatiques. Les modèles de circulation générale (MCG) prévoient un réchauffement planétaire de 1,0 à 3,5 °C d'ici 2100 (IPCC, 1996). Les MCG récents suggèrent que le réchauffement sera maximal aux latitudes nordiques. Ils prévoient qu'un doublement des concentrations de CO₂ pourrait entraîner des hausses de température de l'ordre de 2 à 8 °C dans le sud du Canada, avec des variations d'une saison et d'une région à l'autre. Les latitudes plus élevées et les régions arctiques pourraient connaître des réchauffements plus importants. Le changement climatique est de loin le problème atmosphérique qui pourrait avoir les plus grands impacts, faisant, à long terme, sentir son influence sur la plus grande étendue géographique du Canada (Hengeveld, 1995; Munn et Maarouf, 1997). Sans aucun doute, c'est un problème urgent en ce sens qu'il exige une réponse de politiques efficace. Le Canada a donc été l'un des premiers pays à signer la Convention-cadre sur le changement climatique (CCCC) lors du Sommet de Rio en 1992 et a élaboré un Programme d'action national sur le changement climatique, qui demande la stabilisation, d'ici l'an 2000, des émissions canadiennes de GES aux niveaux de 1990. Malheureusement, cependant, le Canada et plusieurs autres pays industrialisés n'atteignent pas cet objectif, et une nouvelle date cible a été proposée lors de la Conférence des Parties de 1997, qui a eu lieu à Kyoto, au Japon.

Appauvrissement de l'ozone stratosphérique

Dans les dernières décennies, la stratosphère a été perturbée par un certain nombre de composés organiques de synthèse, comme les CFC, les halons et d'autres substances chimiques qui interviennent dans la destruction de l'ozone. L'appauvrissement de la couche d'ozone laisse passer davantage de rayonnement UV-B solaire jusqu'à la surface de la Terre, ce qui entraîne une augmentation des cancers de la peau, ainsi que d'autres effets biologiques néfastes.

C'est en 1957, dans le cadre de l'Année géophysique internationale (AGI), que le Canada a commencé la surveillance planétaire de l'ozone stratosphérique, surtout en tant que traceur de phénomènes stratosphériques. Vers la fin des années 1970 et le début des années 1980, certains pays, dont le Canada, ont graduellement abandonné les utilisations non essentielles des CFC comme propulseurs de certains aérosols. Après la découverte du trou d'ozone de l'Antarctique par des scientifiques britanniques, en 1985, le Canada a été le premier pays à entreprendre des études de la couche d'ozone dans l'Arctique. Il a aussi joué un rôle critique dans l'élaboration du Protocole de Montréal, signé par 24 pays en 1987, relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Par la suite, le Canada a ratifié toutes les modifications au Protocole et participé à plusieurs rencontres internationales visant à restaurer la couche d'ozone.

Dépôts acides

Les oxydes de soufre (SO_x) et d'azote (NO_x) se transforment en particules de sulfates et de nitrates, qui se combinent ensuite à la vapeur d'eau pour former les acides sulfurique et nitrique. Ces polluants peuvent parcourir de longues distances avant d'être lessivés par les précipitations ou se déposer directement sur les lacs, la végétation, les bâtiments et d'autres surfaces.

Les pluies acides sont devenues un problème environnemental pour le Canada dans les années 1970, après que l'on ait signalé des pertes dans les populations de poissons de certains lacs très acidifiés du nord de l'Ontario. À la fin des années 1970, le Programme de transport à grande distance des polluants atmosphériques (TGDPA) a été mis sur pied pour étudier la présence et les effets des polluants atmosphériques apportés au Canada ou transportés au-dessus de son territoire. Tout au long des années 1980, le Canada et les États-Unis ont mené de nombreux programmes de recherches sur les dépôts acides. Le Programme de lutte contre les pluies acides du Canada a été mis sur pied en 1985, concluant des ententes fédérales-provinciales avec les sept provinces situées à l'est de la Saskatchewan. Les émissions de dioxyde de soufre (SO_2) sont passées de 3,8 millions de tonnes en 1980 à 1,7 million en 1994, dépassant ainsi considérablement l'objectif de réduction des émissions fixé pour l'est du pays. En 1991, le Canada a conclu une entente avec les États-Unis pour la réduction des émissions de SO_2 et NO_x . Malheureusement, même lorsque les programmes du Canada et des États-Unis seront pleinement mis en application en 2010, environ 95 000 lacs du sud-est du Canada resteront endommagés par les pluies acides (AETG, 1997).

Smog

Ce terme désigne généralement un mélange nocif de gaz et de particules essentiellement dû à la combustion de combustibles fossiles. Le problème du smog dans ce chapitre visera particulièrement l’ozone (O₃) troposphérique, principal composant du smog dans nombre de villes canadiennes et sous le vent de celles-ci.

À partir des résultats d’études sur la santé humaine et la végétation menées dans les années 1970 et au début des années 1980, le Canada a fixé le niveau maximum acceptable de l’ozone troposphérique à une moyenne de 82 parties par milliard (ppb) sur une heure. Cependant, ce seuil de qualité de l’air a été dépassé plusieurs fois dans bien des villes du pays depuis le milieu des années 1980. En 1990, les gouvernements fédéral et provinciaux, en consultation avec l’industrie, les groupes environnementalistes et le public, ont mis sur pied un plan de gestion visant à réduire l’abondance de l’ozone troposphérique via la limitation des NO_x et des composés organiques volatils (COV). Le plan définit trois régions comme particulièrement affectées : la vallée du bas Fraser en Colombie-Britannique, le corridor Windsor-Québec et le sud de la région de l’Atlantique. L’objectif canadien de qualité de l’air ambiant pour l’ozone troposphérique est en cours de révision.

Matières particulaires en suspension

Ce terme regroupe toute une gamme de particules solides et de très petites gouttelettes provenant de sources naturelles ou anthropiques. Les particules naturelles sont du sel de mer, de la poussière du sol, de la fumée du brûlage de la biomasse, des émissions biosynthétiques terrestres et marines, et des cendres volcaniques. Les particules anthropiques sont des sulfates, des nitrates, de la suie, des particules organiques et la fumée du brûlage anthropique de la biomasse.

On s’est penché sur ce problème pour trois raisons environnementales. D’abord, l’augmentation des concentrations de matière particulaire, causant une diffusion de la lumière et une baisse de la visibilité, est devenue un problème dans l’Arctique et ailleurs. Ensuite, des études épidémiologiques ont confirmé les effets délétères des particules fines sur la santé humaine. Et, plus récemment, les études sur le changement climatique ont mis en évidence un effet de refroidissement radiatif des aérosols soufrés sur les climats « régionaux ».

Polluants atmosphériques dangereux (PAD)

Les PAD sont définis comme des contaminants présents dans l’air ambiant sous forme de gaz, d’aérosols ou de particules en quantités traces et ayant des caractéristiques (toxicité, persistance) qui les rendent dangereux pour la santé humaine, la végétation ou les animaux. Ils sont issus de nombreuses sources anthropiques et naturelles et incluent des pesticides, des composés chimiques industriels, des sous-produits de combustion et des métaux lourds. Ces substances sont libérées dans l’atmosphère et peuvent franchir de grandes distances avant de se redéposer.

Des études épidémiologiques couvrant de nombreuses années ont mis en évidence les effets nocifs des PAD sur la santé humaine et sur la biosphère, en particulier sous le vent des sources. Ces

dernières années, on a aussi reconnu le rôle de l'atmosphère comme voie de transport des toxiques chimiques vers les régions éloignées du Canada. Par exemple, on a détecté dans les régions polaires des PAD venus des latitudes basses et moyennes. La découverte de PCB et de toxaphène (un pesticide) dans des endroits isolés du lac Supérieur en 1978 a été une des premières indications de l'importance du transport atmosphérique dans la région des Grands Lacs. L'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs, conclu en 1972 par le Canada et les États-Unis, a été modifié en 1987 pour inclure les « substances toxiques aéroportées ». Récemment, le Comité de coordination national sur les problèmes atmosphériques a formé un groupe d'étude des polluants atmosphériques dangereux, qui doit coordonner et administrer tous les programmes du Canada visant les PAD.

EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES AUTRES PROBLÈMES ATMOSPHÉRIQUES

Le changement climatique peut exacerber les autres problèmes atmosphériques. On peut s'attendre à ce que l'excès de GES et le réchauffement prévu modifient la chimie de l'atmosphère, surtout pour ce qui est des interactions entre les GES clés (CO_2 , CH_4 , N_2O , CFC et O_3), les principaux oxydants (radical hydroxyle [OH] et peroxyde d'hydrogène [H_2O_2]), et les autres gaz ou particules à l'état de traces en jeu dans un ou plusieurs des cinq autres problèmes atmosphériques. On trouvera quelques exemples ci-après.

Ozone stratosphérique

Le dioxyde de carbone (CO_2) contribue à modifier la structure thermique de l'atmosphère en refroidissant la stratosphère. Normalement, lorsque la température de la stratosphère est plus basse, moins d'ozone est détruit, donc l'effet du CO_2 est de diminuer l'appauvrissement de l'ozone. Cependant, une augmentation des concentrations de CO_2 dans l'atmosphère devrait entraîner un refroidissement accru de la basse stratosphère, ce qui pourrait accroître la formation de nuages stratosphériques polaires au-dessus de certaines régions, et donc ramener les espèces potentiellement destructrices de l'ozone à leur forme active.

Le méthane (CH_4) contribue à la destruction de l'ozone stratosphérique par son effet sur la quantité de vapeur d'eau dans la stratosphère. Par contre, lorsqu'un atome libre de chlore réagit avec le CH_4 , il se lie en une molécule de chlorure d'hydrogène (HCl), qui peut être transporté de la stratosphère à la troposphère, où il est lessivé par la pluie.

L'oxyde nitreux (N_2O) est un GES, mais, lorsqu'il se transforme en NO_x , il détruit l'ozone stratosphérique dans un cycle catalytique semblable à celui des radicaux chlorés.

Dépôts acides

Le réchauffement du climat accélérera les transformations physiques et chimiques des acidifiants primaires et secondaires. La circulation générale de l'atmosphère et les régimes pluviométriques seront modifiés, de même que les réactions et l'instabilité générales de la troposphère, ce qui influera sur le problème des pluies acides. Ces changements altéreront les trajectoires de transport

des gaz acidifiants et donc leur dépôt et les concentrations régionales. Les émissions estivales de composés soufrés et azotés pourraient augmenter en raison de la hausse de la demande pour la climatisation des édifices et des automobiles. Il se produit aussi du peroxyde d'hydrogène, un fort oxydant et catalyseur de la production d'acide sulfurique, ce qui accroît les dépôts acides.

Smog et matières particulaires

Les émissions naturelles et anthropiques de plusieurs polluants (comme les NO_x et les COV) et de matières particulaires sont sensibles aux conditions météorologiques. Par exemple, les COV libérés par les réservoirs de combustible, par l'utilisation de solvants et par les usines de produits chimiques sont plus volatils aux températures élevées. De plus, les composés azotés émis par les microbes du sol et les COV de la végétation réagissent à la température. Le changement climatique devrait aussi accroître le risque d'épisodes de smog, parce qu'il y aura davantage de journées chaudes en été.

Polluants atmosphériques dangereux (PAD)

Les organochlorés, dont les pesticides chlorés et les PCB, sont transportés par le vent des latitudes tempérées et tropicales jusque dans l'Arctique. Ces composés sont assez volatils pour s'évaporer à la source, mais leur volatilité baisse aux basses températures, ce qui cause un fractionnement et un dépôt considérable (Wania et MacKay, 1993). On pense que le réchauffement du climat jouera un rôle dans la volatilisation, l'évaporation, la condensation froide, le fractionnement global et le dépôt de plusieurs PAD dans les régions arctiques.

EFFETS DES AUTRES PROBLÈMES ATMOSPHÉRIQUES SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Ozone stratosphérique

Une diminution de l'ozone dans la stratosphère se traduit par une réduction du flux d'ozone vers la haute troposphère où il agit comme un GES. L'amincissement de la couche d'ozone permet une augmentation du rayonnement UV-B pénétrant dans la basse atmosphère, où il accroît la production de radicaux OH (puits primaire du méthane, GES environ 20 fois plus puissant que le CO₂). Ainsi, la destruction de l'ozone stratosphérique entraînerait un ralentissement du changement climatique.

L'océan joue un rôle-clé dans le réchauffement planétaire. Le phytoplancton marin est un important puits du CO₂ atmosphérique et joue un rôle décisif dans l'évolution des tendances futures des concentrations de celui-ci. Il est probable que l'augmentation de l'exposition au rayonnement UV-B aura un effet négatif sur la productivité des systèmes marins, réduisant ainsi les puits de CO₂ et exacerbant le changement climatique.

Dépôts acides

Les précurseurs des précipitations acides (SO_2 et NO_x) s'oxydent dans l'atmosphère et forment des aérosols de sulfates et de nitrates. Ces particules réfléchissent une partie du rayonnement solaire vers l'espace, entraînant un forçage radiatif négatif (refroidissement du climat).

Les effets eutrophisants du dépôt d'azote (N) peuvent accroître le stockage de carbone dans les sédiments marins et les sols forestiers calcaires, qui sont probablement des éléments importants du bilan mondial du carbone (Rodhe *et al.*, 1995). La vitesse d'oxydation du CH_4 dans les sols forestiers peut être réduite par le dépôt de N et les émissions de N_2O peuvent augmenter, ce qui entraînera une certaine augmentation de l'effet de serre. Cependant, cette augmentation de la contribution à l'effet de serre semble considérablement plus faible que la réduction de l'effet de serre causée par la séquestration du carbone.

Les récents changements apportés aux technologies et aux procédés industriels pour atténuer les dépôts acides se révèlent à la fois avantageux et désavantageux dans le contexte du changement climatique. Par exemple, les fonderies de métaux non ferreux, le lavage du charbon et les brûleurs à faibles émissions de NO_x font substantiellement baisser les émissions de SO_2 , de NO_x et de CO_2 , ce qui est un progrès en ce qui concerne l'acidification, le changement climatique et d'autres problèmes atmosphériques. Parmi les désavantages : les épurateurs installés dans certaines centrales réduisent les émissions de certaines matières particulaires à pH relativement élevé, qui neutralisent souvent les acides. En outre, l'épuration exige d'utiliser davantage d'énergie, donc de brûler plus de charbon, d'où une augmentation des émissions de CO_2 .

Smog

Un des principaux composants du smog est l'ozone troposphérique, un important GES qui contribue au forçage radiatif positif du climat.

Matières particulaires en suspension

Les particules et aérosols présents dans la troposphère influent sur le climat de deux façons : directement via la diffusion et l'absorption du rayonnement solaire, et indirectement en modifiant les propriétés optiques, la quantité et la durée des nuages. Les effets tant directs qu'indirects des particules d'aérosols dépendent fortement de leur concentration, de leur taille, de leur réflectivité et de leur composition chimique. Bien que certains aérosols comme la suie absorbent efficacement la lumière et causent un léger réchauffement, le forçage radiatif planétaire moyen net (direct et indirect) des aérosols anthropiques est négatif et d'une ampleur significative (IPCC, 1995, 1996). Certaines études suggèrent que, en moyenne mondiale, les particules de sulfates anthropiques masquent environ 25 % du réchauffement causé par le CO_2 et les autres GES.

Polluants atmosphériques dangereux (PAD)

Les effets des PAD (tels que définis dans le présent chapitre) sur le changement climatique ne sont pas encore clairement compris.

INTERACTIONS ENTRE LES DIVERS PROBLÈMES ATMOSPHÉRIQUES

TABLEAU 3.1 Résumé qualitatif des liens entre les problèmes atmosphériques

PROBLÈME ATMOSPHÉRIQUE	Changement climatique	Appauvrissement de l’ozone stratosphérique	Dépôts acides	SMOG	Matières particulaires en suspension
Changement climatique		-1 mais plusieurs effets opposés	-1 mais plusieurs effets opposés	+1	-1 (global) -2 (régional)
Appauvrissement de l’ozone stratosphérique	+1		0	-1	+1
Dépôts acides	+2	+1		I	+1
SMOG	+2	+1	+1		forte corrélation
Matières particulaires en suspension	+1	+1	+1	forte corrélation	

Les effets des problèmes de changements atmosphériques portés dans la rangée supérieure sur les problèmes indiqués dans la colonne de gauche sont notés comme suit : 0 (aucun effet), 1 (effet modéré), 2 (effet notable), I (effet inconnu). Les signes + et - indiquent respectivement un renforcement (aggravation) ou une atténuation. Les PAD ne sont pas inclus dans le tableau en raison de leur trop grande diversité. (Adapté de Maarouf et Smith, 1997).

Le tableau 3.1 donne un résumé qualitatif simple des principales interactions entre cinq des six problèmes atmosphériques (Maarouf et Smith, 1997). Par exemple, le réchauffement climatique devrait exacerber l’appauvrissement de l’ozone stratosphérique et les épisodes de matières particulaires en suspension de façon modérée (score de +1) et les occurrences de dépôt acide et de smog de façon importante (score de +2). Par contre, l’appauvrissement de l’ozone dans la basse stratosphère cause un refroidissement net modéré du climat (score de -1). Autre exemple, les particules en suspension dans la haute troposphère (surtout des sulfates et des nitrates) refroidissent l’atmosphère, ce qui réduit le réchauffement par effet de serre de façon importante à l’échelle régionale (score de -2) et de façon modérée (score de -1) à l’échelle planétaire.

Nous abordons ensuite les interactions entre plusieurs problèmes qui ont des effets souvent néfastes, mais parfois bénéfiques, sur les écosystèmes tant naturels qu’aménagés. Dans le secteur de la limnologie, par exemple, le réchauffement climatique, les dépôts acides et l’appauvrissement de l’ozone stratosphérique sont liés via leur rôle dans la pénétration accrue du rayonnement UV-B dans les lacs d’eau claire, qui en endommage les écosystèmes (Schindler *et al.*, 1996; Yan *et al.*, 1996). Dillon *et al.* (1997) ont attribué la lenteur de la récupération des lacs acidifiés du sud de l’Ontario, malgré la baisse des émissions soufrées, à la réoxydation et à la libération du soufre stocké dans les bassins versants après les fortes sécheresses. Le fait que deux stress ou plus se renforcent mutuellement se manifeste dans la prévision, pour le XXI^e siècle, d’une sécheresse accrue du climat aux latitudes moyennes, avec une augmentation de la fréquence et de la gravité des épisodes d’ozone (dus à une hausse des émissions issues de la production d’énergie et de

l'utilisation des automobiles). Combinés, ces stress peuvent entraîner d'importantes réductions du rendement des cultures (Chamiedes *et al.*, 1994). Certaines cultures et forêts pourraient bénéficier d'une fertilisation par des concentrations accrues du CO₂ ambiant; cependant, l'effet net du changement climatique (CO₂, température, précipitations, humidité du sol, etc.), de l'augmentation du rayonnement UV-B incident et de l'ozone troposphérique est en grande partie inconnu (Krupa, 1997). Ces études mettent en évidence le besoin de mieux comprendre et intégrer les liens entre les divers problèmes atmosphériques pour en évaluer les effets synergiques sur les écosystèmes et les activités socio-économiques.

Il y a de nombreux effets indirects ou secondaires mettant en jeu plusieurs problèmes atmosphériques. On en trouvera des exemples ci-dessous.

- Les écosystèmes reçoivent des apports substantiels d'azote anthropique, qui, dans les sols et les eaux non acides, peut jouer un rôle fertilisant et accroître le stockage terrestre et marin du carbone (IPCC, 1995). En réduisant les émissions de N anthropique pour s'attaquer aux problèmes du smog et des pluies acides, on peut réduire l'efficacité des puits de carbone et donc accentuer le changement climatique.
- Les substances appauvrissant la couche d'ozone (SACO), comme les CFC, sont remplacées par des HCFC et des HFC, dont certains sont de puissants GES (IPCC, 1995).
- Les convertisseurs catalytiques des automobiles ont entraîné une baisse spectaculaire des émissions de NO_x du secteur des transports, mais libèrent une petite quantité de N₂O, un important GES.
- Les automobiles électriques causeront une pollution nulle au point d'utilisation, mais d'autres PAD, comme le plomb (Pb), seront générés par la fabrication et la recharge des batteries (Lave *et al.*, 1995).
- L'acidification des sols peut affecter leur piégeage du méthane, du N₂O et du CO, car les micro-organismes qui y vivent seront eux aussi affectés.

Boucles de rétroaction

Les sources naturelles et anthropiques d'émissions de GES sont sensibles aux conditions climatiques. Par exemple, avec des étés plus longs et plus chauds, il y aura une hausse de la demande en climatisation, donc en combustibles fossiles pour la production d'électricité. Il n'est pas certain que la baisse concomitante de la demande hivernale pour le chauffage compensera l'accroissement de la demande estivale.

Autre processus sensible au climat, le taux de libération du CH₄ issu des régions de pergélisol, des milieux humides nordiques et de la décomposition des hydrates de méthane (clathrates) dans les régions de la plate-forme continentale. Des mesures montrent que l'élévation de la température ou l'allongement de la période où les terres sont détrempées font monter les émissions de CH₄ (rétroaction positive). Inversement, un abaissement de la nappe phréatique dans les zones humides ou les tourbières du nord peut entraîner une réduction des émissions (rétroaction négative) (IPCC, 1995). Le principal mécanisme de piégeage du CH₄ est sa réaction avec le radical OH. Une hausse des concentrations troposphériques de CH₄ mènerait à une baisse des concentrations de OH et à un allongement de la durée de vie du CH₄ et amplifierait donc la perturbation initiale par le CH₄. La réduction du OH troposphérique peut aussi indirectement faire monter l'abondance de certains

autres GES et SACO (IPCC, 1995). Lorsque le CH₄ est détruit dans la stratosphère, il se produit de la vapeur d'eau, qui agit comme un GES et joue un rôle dans la chimie de la stratosphère.

Le changement climatique influera sur l'état de la surface des terres (p. ex., humidité du sol, végétation, rugosité, albédo, etc.). Ces nouvelles conditions de la surface, à leur tour, agiront sur l'atmosphère sus-jacente (teneur en humidité, nuages, systèmes météorologiques, etc.). À mesure que l'atmosphère se réchauffe, sa capacité de rétention de la vapeur d'eau augmente, ce qui accentue la tendance au réchauffement. Il y a une autre boucle de rétroaction, qui est liée à la perte de réflectivité (albédo) de la surface de la Terre due à la fonte des glaces polaires, ce qui accélère le réchauffement (IPCC, 1996). Une complication supplémentaire provient de la rétroaction nuages/rayonnement. Les nuages peuvent à la fois réfléchir le rayonnement solaire (ce qui refroidit la surface) et absorber et restituer le rayonnement de grande longueur d'onde (ce qui la réchauffe) selon leur hauteur, leur épaisseur et leurs propriétés radiatives (IPCC, 1996).

PERCEPTION DU PUBLIC

Le changement climatique et les autres stress atmosphériques sont l'effet d'une multitude de décisions concernant les transports, l'énergie, l'utilisation des terres et la gestion d'autres ressources naturelles prises aux niveaux national, local et individuel. Souvent, c'est l'opinion du public qui gouverne la prise de décisions, et les décisionnaires doivent savoir quelles mesures de limitation, économiquement rentables, seront aussi les plus acceptables par la société. Il est donc important que le public comprenne le changement climatique et ses liens avec les autres problèmes atmosphériques pour qu'on puisse examiner les options d'adaptation et appliquer des mesures d'atténuation présentant des avantages multiples.

Dans un récent sondage d'opinion publique, sur huit questions d'ordre environnemental, le changement climatique s'est classé au dernier rang (Environnement Canada, 1997). La fabrication, l'utilisation et l'élimination des substances chimiques toxiques étaient considérées comme le plus important problème pour les Canadiens. Si la question est posée sans que l'on propose un choix de réponses, seulement 2 % des Canadiens indiquent le changement climatique comme problème environnemental le plus préoccupant. Lorsque l'on demande quel phénomène atmosphérique est le plus dangereux pour l'humanité et la planète, la majorité (59 %) des Canadiens choisit l'amincissement de la couche d'ozone, et seulement 28 % le changement climatique. Nous pensons cependant que, pour la plupart des gens, il persiste une certaine confusion et qu'ils ne comprennent pas clairement la différence entre les deux problèmes.

Environ la moitié des Canadiens (49 %) croient qu'ils ne peuvent pas agir personnellement sur le changement climatique. Qui plus est, les interactions et les liens du changement climatique avec les autres problèmes atmosphériques ne semblent pas compris. Dans l'ensemble, le public ne s'intéresse à l'environnement qu'en cas de catastrophe ou de danger pour la santé publique. Par exemple, en février 1992, la NASA a signalé qu'il pourrait y avoir un grave appauvrissement de l'ozone stratosphérique au-dessus de l'Arctique, voire jusqu'aux latitudes moyennes. Les médias ayant accordé beaucoup d'importance à la situation et le public craignant les conséquences d'une exposition accrue aux rayons UV-B, Environnement Canada a décidé d'établir les programmes « Info-Ozone » et « Indice-UV » pour renseigner la population dans plusieurs endroits du pays, à

partir du printemps 1992 (O'Toole, 1993). On pouvait donc mettre à profit un épisode de phénomène extrême (vague de chaleur, inondation, sécheresse, smog, fort indice UV, etc.) pour donner à la population des renseignements précieux sur le changement climatique (ainsi que sur la variabilité et les extrêmes du climat), de même que sur d'autres problèmes atmosphériques.

POLITIQUES VISANT LES PROBLÈMES ATMOSPHÉRIQUES

Les politiques et stratégies réglementaires actuellement en vigueur dans plusieurs pays, de même que les ententes internationales interdisant ou régissant certains types d'émissions atmosphériques, ne concernaient essentiellement qu'un problème à la fois. Citons comme exemples la CCCC qui vise la stabilisation des émissions de GES; le Protocole de Montréal et ses amendements pour l'interdiction des substances qui appauvrissent la couche d'ozone stratosphérique; l'Accord Canada-États-Unis sur la qualité de l'air qui vise à réduire les émissions de précurseurs des pluies acides; et le Plan de gestion des NO_x/COV du Conseil canadien des ministres de l'environnement qui concerne le problème du smog. Cependant, les politiques adoptées pour réduire l'acidification, par exemple, ont des effets (positifs et négatifs) sur les autres problèmes atmosphériques (p. ex., les aérosols de sulfates jouent un rôle non négligeable dans le refroidissement du climat). Dans certaines régions industrialisées, où les concentrations de sulfates sont particulièrement élevées, ce refroidissement induit par les aérosols peut en fait être d'une ampleur comparable au réchauffement par effet de serre (Rodhe *et al.*, 1995). Les réductions des émissions d'aérosols de sulfates dans certaines régions peuvent donc y conduire à des réchauffements, comme dans les provinces de l'Atlantique. Il est devenu évident que l'on ne peut plus considérer ces problèmes séparément, et que leurs interrelations ont des implications considérables pour les politiques.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

On a vu dans ce chapitre des exemples illustrant le fait que le changement climatique et les autres problèmes atmosphériques sont interreliés dans un réseau complexe de rétroactions, de décalages et de synergies. Il est maintenant clair que les stratégies visant un problème en particulier ne sont pas nécessairement adaptées pour l'ensemble (Munn, 1995, 1997). Le changement climatique, qui a fait l'objet de l'Étape I de l'ÉPC, est indubitablement le problème qui risque d'avoir les effets les plus généralisés et de toucher le plus grand pourcentage du territoire canadien au cours du XXI^e siècle. Cependant, il faudra adopter une stratégie plus intégrée visant tous les problèmes atmosphériques pour offrir aux décideurs les outils qui leur permettront d'élaborer des mesures d'atténuation et des stratégies d'adaptation qui présentent des avantages multiples. Donc, dans la conception d'études d'évaluation intégrée à grande échelle, comme l'Étape II de l'ÉPC et l'Étude sur la région de Toronto-Niagara (Chiotti *et al.*, 1997), on devrait examiner les effets des politiques sur l'ensemble des problèmes atmosphériques, et non sur le seul changement climatique. On trouvera également ci-dessous d'autres recommandations et considérations liées à l'évaluation intégrée des problèmes atmosphériques (voir aussi Munn et Maarouf, 1997).

- a) Plusieurs types d'émissions de gaz et de matières particulaires contribuent grandement au changement climatique. Il faudrait procéder à une évaluation intégrée des effets de toutes ces émissions sur le climat, et des processus physiques et chimiques en jeu. De même, l'impact de chacun de ces types d'émissions sur les cinq autres problèmes devrait être évalué.

- b) Vu les interactions entre plusieurs des problèmes atmosphériques, il faudrait procéder à une évaluation intégrée des impacts des diverses stratégies de limitation sur l'ensemble des problèmes atmosphériques. Par exemple :
- Quelles mesures de limitation seraient les plus rentables et les plus socialement acceptables?
 - L'une des mesures de limitation proposées pour un problème risque-t-elle d'avoir des effets positifs (négatifs) sur les tentatives d'atténuer les effets néfastes des cinq autres?
 - Quelle est l'incertitude relative associée à chaque option de limitation? Peut-on, malgré cette incertitude scientifique, mettre en place des mesures rentables?
- c) Le changement climatique a souvent été lié à de possibles augmentations de la fréquence et de l'intensité des phénomènes extrêmes. Là encore, il faudrait examiner l'ensemble des problèmes atmosphériques. Par exemple :
- Quels pourraient être les effets sur la santé humaine d'une augmentation du rayonnement UV-B et de la fréquence des vagues de chaleur et des épisodes de smog?
 - Quels pourraient être les effets d'une augmentation du rayonnement UV-B, des épisodes de pollution atmosphérique, du temps violent et d'autres phénomènes extrêmes sur les normes de construction, les infrastructures, les mesures de sécurité, la planification des communautés et l'urbanisme?
- d) Étant donné que les milieux récepteurs sont soumis à plusieurs stress simultanés, il est important d'essayer de comprendre et d'évaluer les effets intégrés de ceux-ci sur les secteurs socio-économiques (p. ex., rendement des cultures) et sur les écosystèmes.

La prise en considération de ces éléments compliquera énormément l'élaboration d'une étude d'évaluation intégrée, mais, sans elle, l'analyse serait forcément incomplète. On doit cependant souligner que l'incertitude scientifique qui pèse sur les liens entre les divers problèmes atmosphériques ne devrait pas être invoquée pour retarder la prise de mesures qui seraient rentables, à faibles risques ou justifiées pour d'autres raisons (principe de prudence). De même, avec l'avancement des recherches scientifiques, on pourrait justifier ou promouvoir (principe du sans-regret) diverses mesures d'adaptation et d'atténuation respectueuses de l'environnement (p. ex., plantation d'arbres, efficacité énergétique, économies d'énergie, etc.).

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier leurs collègues d'Environnement Canada : Terry Allsopp, Jeff Brook, Elisabeth Galarneau, Don MacIver, Marjorie Shepherd et Doug Whelpdale, qui ont révisé le présent chapitre et fourni nombre de précieux commentaires et suggestions.

RÉFÉRENCES

AETG - Acidifying Emissions Task Group (1997). Towards a National Acid Rain Strategy. Environment Canada, 98 p.

Chameides, W.L., P.S. Kasibhatla, J. Yienger and H. Levy II (1994). Growth of continental-scale metro-agro-plexes, regional ozone pollution, and world food production. *Science*, Vol 264, p. 74-77.

Chiotti, Q. (1997). "Preparing for atmospheric change in the Toronto-Niagara Region", in Chiotti, Q., (ed) Proceedings of the Climate Variability, Atmospheric Change and Human Health Workshop, November 4-5, 1996, Pollution Probe, Downsview, p. 89-121.

Dillon, P.J., L.A. Molot and M. Futter (1997). The effect of El Nino-related drought on the recovery of acidified lakes. *Environ Monitor Assess*, Vol 46, Nos. 1-2, p. 105-112.

Environment Canada (1997). Recent public opinion research data on climate change. Unpublished report, Environment Canada, Ottawa, 10 p.

Hengeveld, H. (1995). Comprendre l'atmosphère en évolution : Revue de la science de base et des implications d'un changement du climat et d'un appauvrissement de la couche d'ozone. Rapport sur l'état de l'environnement, EDE 95-2, Environnement Canada, Ottawa.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (1995). *Climate Change 1994: Radiative forcings of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 339 pp.

IPCC. (1996) *Climate Change (1995). The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, New York, N.Y., 584 pp.

Krupa, S.V. and R.N. Kikert (1989). The greenhouse effect: Impacts of UV-B, CO₂ and O₃ on vegetation. *Env Poll*, Vol 61, p. 263-393.

Krupa, S.V. (1997). Global climate change: Processes and products - An overview. *Environ Monitor Assess*, Vol 46, Nos. 1-2, p. 73-88.

Lave, L.B., C.T. Hendrickson and F.C. McMichael (1995). Environmental implications of electric cars. *Science*, Vol 268, p. 993-995.

Maarouf, A.R, and J. Smith (1997). Interactions amongst policies designed to resolve individual air issues. *Environ Monitor Assess*, Vol 46, Nos. 1-2, p. 5-21.

Munn, R.E. (ed). (1995). *Atmospheric Change in Canada: Assessing the whole as well as the parts*. Summary Report of a Workshop, Institute for Environmental Studies, University of Toronto, 36 p. 7.

Munn, R.E. (ed). (1997). Atmospheric Change in Canada: Assessing the whole as well as the parts. Proceedings of a Workshop, Environ Monitor Assess, Vol 46, Nos. 1-2, 190 p.

Munn, R.E. and A.R. Maarouf (1997). Atmospheric issues in Canada. Science of the Total Environment, Vol. 203, p. 1-11.

O'Toole, A. (1993). The UV program experience in Canada. In Maarouf A. (ed), Proceedings of the weather and health workshop, Environment Canada, Downsview, Ontario, p. 82-88.

Rodhe, H., P. Grennfelt, J. Wisniewski, C. Agren, G. Bengtsson, K. Johansson, P. Kauppi, V. Kucera, L. Rasmussen, B. Rosseland, L. Schotte and G. Sellden (1995). Acid Reign '95? - Conference Summary Statement. Water, Air and Soil Pollution, Vol 85, p. 1-14.

Schindler, D.W., P.J. Jefferson, B.R. Parker and M.P. Stainton (1996). Consequences of climate warming and lake acidification for UV-B penetration in North American boreal lakes. Nature, Vol 379, p. 705-708.

SENES Consultants Ltd. (1996). A summary review of the atmospheric link between particulate matter and other air quality issues. Environment Canada, Downsview, Ontario, 84 p.

Wania, F. and D. MacKay (1993). Global fractionation and cold condensation of low volatility organochlorine compounds in polar regions. Ambio, Vol. 22 No. 1, p. 10-18.

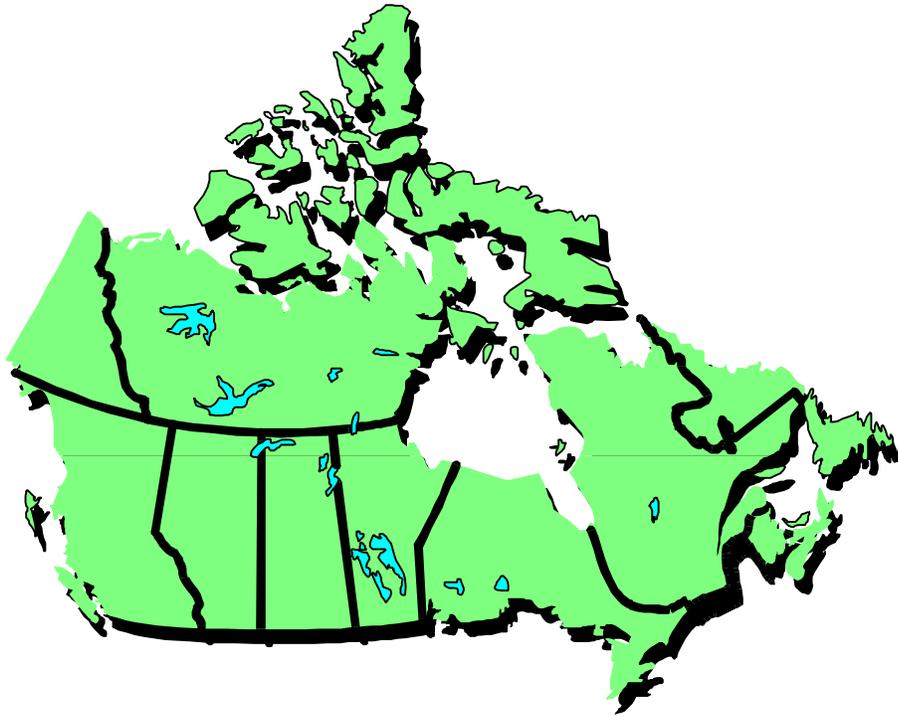
White, J.C. (ed), (1989). Global Climate Change Linkages: Acid Rain, Air Quality and Stratospheric Ozone. Elsevier Pub., New York, 262 p.

Yan, N.D., W. Keller, N.M. Scully, D.R.S. Lean and P.J. Dillon (1996). Increased UV-B penetration in a lake owing to drought-induced acidification. Nature, Vol 381, p. 141-143.

CHAPITRE QUATRE

LES INFLUENCES EXTRATERRITORIALES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE : SES EFFETS À L'EXTÉRIEUR DU CANADA ET SON IMPACT SUR LES INTÉRÊTS CANADIENS

Beth Chalecki¹



1. Institut pour l'étude de l'environnement, Université de Toronto, 33, rue Willcocks, Toronto, Ontario M5S 3E8. Téléphone : (419) 972-6752, télécopieur : (416) 978-3884, courriel : beth.chalecki@utoronto.ca

RÉSUMÉ

Le chapitre consacré aux questions extraterritoriales analyse les effets que le changement climatique extérieur au Canada a sur les intérêts canadiens, en particulier dans les domaines du commerce international, de la sécurité (aussi bien alimentaire que militaire) et des réfugiés. Un examen de la littérature sur ces domaines révèle de nombreuses lacunes et des secteurs qui appellent une étude plus fouillée. Et, tandis que certains résultats sont pratiquement impossibles à prédire, on peut dégager plusieurs tendances générales.

C'est l'analyse du commerce international qui donne les résultats les plus imprécis. Les secteurs de l'agriculture, de la foresterie, des pêches et de l'énergie seront tous touchés à des degrés divers par le changement climatique. Étant donné que le Canada est lourdement tributaire des exportations de ces quatre branches d'activité, sa balance commerciale sera elle aussi touchée. Quels que soient les secteurs qui bénéficieront ou qui pâtiront des effets du changement climatique, les politiques de réponse au changement climatique et celles concernant le commerce international doivent être complémentaires si l'on veut qu'elles atteignent le double objectif d'atténuer les effets du changement climatique sans causer de trop lourds problèmes économiques.

Les effets du changement climatique sur la sécurité semblent plus précis. Grâce à sa situation géopolitique, le Canada est à l'abri de la plupart des agressions militaires; par ailleurs, l'importance de son secteur agricole et la tranquillité de sa frontière avec les États-Unis le protègent des caprices des fluctuations de la production alimentaire résultant du changement climatique. Mais, étant donné que le changement climatique a de fortes chances d'accroître la variabilité des phénomènes météorologiques, il faudra examiner de plus près l'aide que les forces de la défense nationale devront apporter aux autorités civiles en cas de catastrophe naturelle.

L'incidence du changement climatique sur le nombre de réfugiés de l'environnement qui arrivent au Canada reste inconnue. Les estimations du nombre de personnes déplacées par les effets du changement climatique font parfois état de 150 millions, mais seulement les plus mobiles pourront se frayer un chemin jusqu'ici. Cela mettra à rude épreuve les mécanismes d'assimilation des réfugiés du Canada, même si le coût exact est impossible à calculer pour l'instant.

INTRODUCTION

Le changement climatique a des effets multiples sur l'environnement et l'économie du Canada, et des incidences directes comme la hausse des températures risquent d'avoir des effets indirects, notamment des changements dans la balance commerciale et la politique étrangère du Canada. Nous analysons dans ce chapitre certains des effets extraterritoriaux indirects, à savoir les changements qui surviendront à l'extérieur du territoire canadien et qui influenceront sur les intérêts du Canada. Dans la première partie, on examine les effets du changement climatique sur le commerce international et notamment l'influence que les changements touchant le secteur primaire risquent d'exercer sur les relations entre le Canada et ses partenaires commerciaux. Dans la deuxième partie, on étudie les répercussions du changement climatique sur la sécurité alimentaire et militaire du Canada. Enfin, dans la troisième partie, on se penche sur le problème

des réfugiés de l'environnement, qui découle des effets du changement climatique sur l'environnement des pays en développement, et sur la possibilité qu'un grand nombre d'entre eux viennent s'installer au Canada.

COMMERCE INTERNATIONAL

Dans les cercles universitaires, le lien entre le commerce international et l'environnement se précise de jour en jour, grâce aux travaux de chercheurs comme Herman Daly, Daniel Esty et Robert Costanza (Daly et Cobb, 1989; Daly, 1993; Esty, 1994; Costanza *et al.*, 1995). Ces écrits regorgent de prévisions de l'instabilité économique qui menace même les pays prospères s'ils ne respectent pas les limites environnementales imposées à la production et à l'assimilation des déchets. Très peu de recherches ont toutefois été menées sur les conséquences de questions environnementales bien précises, comme le changement climatique, sur certains secteurs de l'économie. C'est ainsi que, pour mesurer ce que nous savons des liens indirects entre le changement climatique et le commerce international, nous devons faire quelques extrapolations à partir de la littérature consacrée au thème général du commerce et de l'environnement. De plus, alors que la majeure partie de la littérature traite de « l'environnement » dans son ensemble, une infime partie aborde expressément le changement climatique et ses conséquences.

Bon nombre des protagonistes du commerce international considèrent que les préoccupations relatives à l'environnement, comme le changement climatique, sont en fait des entraves à peine déguisées au commerce international, alors que les écologistes voient souvent dans le libre-échange l'ennemi numéro un des écosystèmes. La libéralisation des échanges internationaux a souvent eu des effets mitigés sur l'environnement. Certes, elle rehausse l'efficacité grâce à des économies d'échelle, mais elle peut aussi entraîner une consommation déraisonnable en nourrissant l'illusion que les réserves sont inépuisables (Charnovitz, 1995). Le changement climatique et d'autres préoccupations environnementales ont rarement fait partie du régime des échanges internationaux, encore que récemment, l'ALÉNA et son accord parallèle, l'Accord nord-américain de coopération dans le domaine de l'environnement (ANACE), ont abouti à une prise de conscience sans précédent des questions environnementales par les milieux du commerce international (Magraw, 1994). Les intérêts environnementaux ont été représentés dès le début des négociations de l'ALÉNA et les préoccupations qui n'y sont pas abordées ont été au cœur de l'accord parallèle. De plus, il se peut que certains accords régionaux comme l'ALÉNA ou le Forum de coopération économique Asie-Pacifique (APEC) se prêtent mieux à l'étude des effets du changement climatique sur les échanges internationaux que des organisations internationales comme l'Organisation mondiale du commerce (OMC), puisque les écosystèmes touchés par les accords régionaux sont d'une échelle plus « locale » (Charnovitz, 1995).

Quelle que soit l'ampleur du régime des échanges, la politique commerciale et les politiques de réponse au changement climatique devront se renforcer mutuellement dans les années à venir, à la fois pour que les lois environnementales soient respectées sans causer trop de rigueurs économiques et que le libre-échange puisse s'épanouir sans causer de dégâts indus à l'environnement. Konrad von Moltke (1992) a analysé les liens qu'il y a entre la politique sur le commerce international et les politiques de réponse au changement climatique et la façon dont les priorités commerciales peuvent appuyer les buts des politiques relatives au changement

climatique. Il est persuadé que les artisans de la politique internationale doivent assurer l'harmonisation des politiques sur le commerce et sur le changement climatique, à défaut de quoi les querelles qui font rage dans une arène feront rage dans l'autre, ce qui déstabilisera les deux politiques. L'adoption de politiques « sans regrets », qui prescrivent que la croissance économique doit comporter un volet écologique, et l'utilisation sélective des subventions est un moyen de faire concorder les buts des politiques de libéralisation des échanges et de réponse au changement climatique (von Moltke, 1992). Le GIEC a également songé à recourir à des instruments économiques internationaux pour atteindre les objectifs de réponse au changement climatique (annexe 1), mais la mise en place de ces instruments reste assez limitée.

Au Canada, le changement climatique aura des répercussions sur la plupart des ressources du secteur primaire. Le chapitre 6 du tome VII de la présente étude analyse les effets du changement climatique sur le secteur forestier. Ses auteurs prédisent que la production forestière (croissance) pourra augmenter de 20 % ou même plus, alors que les niveaux de récolte progresseront d'à peine 3 % à cause d'un décalage de 50 ans avant que les jeunes peuplements n'atteignent l'âge de la récolte. Les études économiques du secteur forestier révèlent que cela profitera aux consommateurs de bois et de produits ligneux tant canadiens qu'étrangers, et il est incontestable que le Canada exportera un plus gros volume de bois d'oeuvre vers les États-Unis si sa production intérieure augmente comme prévu. Dans ce secteur donc, il y a de fortes chances pour que le changement climatique améliore la situation concurrentielle du Canada par rapport à celle de ses partenaires commerciaux.

Le chapitre 5 du tome VII analyse les effets du changement climatique sur les pêches canadiennes, autre importante ressource naturelle à vocation exportatrice. Selon son auteur, même s'il est impossible de savoir si le changement climatique entraînera une hausse ou une baisse des stocks de poissons commerciaux du Canada, il est incontestable que les pêches commerciales ne pourront pas continuer à agir comme elles le faisaient. Le changement climatique aura des répercussions sur les méthodes de pêche traditionnelles, les espèces disponibles pour la consommation et l'emplacement des meilleurs fonds de pêche. Tous ces changements perturberont le marché international du poisson, dont le Canada est l'un des gros fournisseurs. Mais cette baisse de volume ne se soldera pas forcément par un manque à gagner pour les pêches canadiennes. Entre 1990 et 1994, même si le volume des poissons vendus dans le commerce a chuté de 620 kilotonnes, les recettes provenant de la récolte de l'année ont progressé de 276 millions de dollars (chapitre 5, tableau 5.2). Dans ce secteur, il y a de fortes chances pour que le changement climatique se traduise par une amélioration de la position concurrentielle du Canada. Si le reste de l'industrie de la pêche souffre d'une baisse du volume des prises, il se pourrait que les prix commerciaux du poisson augmentent suffisamment pour neutraliser cette baisse financièrement.

L'agriculture est un autre secteur où l'altération des possibilités de production résultant du réchauffement de la planète risque de modifier la structure fondamentale du commerce international et interrégional des produits agricoles, ce qui pourrait avoir de profondes répercussions sur la situation concurrentielle de l'agriculture canadienne. On estime que le changement climatique pourrait être responsable d'une baisse de 10 % de la récolte mondiale de blé trois fois par décennie (Myers, 1993). Cependant, le Canada a les moyens de combler une

partie de cette baisse. Le tableau 4.1 illustre les hausses ou les baisses prévues de la céréaliculture dues au seul réchauffement du climat, sans tenir compte des changements synergiques comme l'élévation du niveau de la mer ou les dommages causés aux cultures par les insectes.

Tableau 4.1 Changements prévus dans la production céréalière mondiale dus au réchauffement du climat

RÉGION	Blé	Maïs	Orge	Avoine	Soya	Riz
Canada	↑	↑	↓	↓	↓	s/o
Reste de l'Amérique du Nord/centrale	↓	↓	s/o	s/o	↓	s/o
Amérique du Sud	↓	↓	s/o	s/o	↓	s/o
Europe	↓	↓	↓	↓	s/o	s/o
Afrique	↓	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o
Ex-Union soviétique	↑	↑	↓	↓	s/o	s/o
Asie	↓	s/o	s/o	s/o	s/o	↑
Océanie	↓	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o

Source : Smit, 1989.

Grâce au réchauffement dû au changement climatique, il se pourrait que la production et les ventes de maïs et de blé d'automne du Canada connaissent une hausse appréciable. Lorsqu'on sait que la production de maïs et de blé risque de baisser dans d'autres pays producteurs de céréales, on comprend que le potentiel d'exportation de blé du Canada vers l'Europe, l'Afrique et l'Asie pourrait croître considérablement. Il se peut également que le Canada parvienne à réduire ses importations de maïs-grain du midwest des États-Unis (Smit, 1989).

Thompson (1993) analyse le régime transfrontalier de contrats à livrer entre les agriculteurs et les usines de transformation des aliments, qui dépendent de prévisions stables sur les récoltes. Les fluctuations des précipitations entraîneront une multiplication des clauses de force majeure dans les contrats et risquent de faire grimper les prix de la transformation des aliments. Contrairement à Smit, Thompson pense que, le territoire des États-Unis bénéficiant de conditions climatiques foncièrement plus favorables, ce pays jouit d'un avantage de production de 30 à 50 % par rapport au Canada. C'est ainsi que la combinaison de changement climatique et de libre-échange risque d'entraîner un déplacement massif du potentiel agricole canadien vers le sud (Thompson, 1993), ce qui pourrait obliger le Canada à importer des denrées qu'il produisait jadis. Le chapitre 4 du tome VII analyse beaucoup plus en détail les répercussions du changement climatique sur

l'agriculture. Les divers modèles de changement climatique qu'on y trouve révèlent qu'en dépit d'une hausse probable de la superficie des terres labourables dans la majeure partie du Canada, il se pourrait que la valeur des produits que l'on cultive sur ces terres subisse une baisse, ce qui aggraverait la situation concurrentielle du Canada. Comme dans le secteur des pêches, les gains ou les pertes économiques nets pour le Canada sont encore impossibles à calculer.

Le chapitre 7 du tome VII de cette étude analyse les effets du changement climatique sur la production intérieure d'énergie, effet qui risque de varier d'une province à l'autre (p. ex., il se peut que la production d'hydroélectricité augmente au Québec et baisse en Ontario); il conclut provisoirement que la demande intérieure globale d'énergie diminuera en raison du réchauffement, et que cette baisse sera en quelque sorte neutralisée par la consommation accrue d'énergie pour la climatisation et l'irrigation. C'est ainsi qu'un plus grand nombre de ressources énergétiques pourront être exportées. Étant donné que les États-Unis sont le plus gros marché d'exportation du Canada en matière d'énergie, selon la situation de l'approvisionnement intérieur dans ce pays, il pourrait y avoir là une possibilité de hausse des recettes, même si elle reste impossible à quantifier avec précision.

Les fluctuations de production causées par le changement climatique dans ces quatre secteurs se produiront sans doute à différents moments. Tout porte à croire que, pour l'agriculture, le décalage sera de 1 à 2 ans, pour les pêches de 5 à 10 ans et pour la foresterie d'une cinquantaine d'années, et que la situation des exportations canadiennes variera donc d'une année à l'autre. Le tableau 4.2 illustre dans quelle mesure le Canada dépend des produits dérivés de ses ressources naturelles pour répondre à la demande d'exportation.

Tableau 4.2 Exportations nationales de 1995 vers les principaux pays commerçants (tous les chiffres sont en millions de dollars)

	Produits agricoles et piscicoles	Produits énergétiques	(60 % provenant de l'hydroélectricité)	Produits forestiers
Etats-Unis	9561,4	20240,7	12144,42	25440,6
Mexique	357,7	51,9	31,14	62,9
Japon	2887,9	1230,6	738,36	4867,7
UE	1979,5	297,4	178,44	4617,5
Autres	4680,2	762,1	457,26	4186,8
TOTAL	19466,7	22582,7	13549,62	39175,5

Source : Statistique Canada, 1995; *Annuaire des statistiques de l'énergie 1994*, Nations Unies, 1996.

La valeur totale de ces produits se chiffre à environ 72 milliards de dollars, soit 41 % des exportations totales du Canada en 1995, dernière année pour laquelle on dispose de données complètes (Statistique Canada, 1995). Le gros des produits de chaque catégorie sont exportés vers les États-Unis, l'énergie représentant le plus fort pourcentage des échanges, selon la demande d'importation américaine. Il ne fait aucun doute que la moindre baisse du potentiel hydroélectrique ou de la production agricole, piscicole ou forestière limitera la capacité du Canada à respecter ses engagements en matière d'exportations. Aux termes de l'ALÉNA, les pays signataires sont tenus de respecter les contrats d'exportation au même titre que les contrats nationaux. Par exemple, advenant qu'Hydro Québec s'engage à vendre 15 % de sa production à Niagara-Mohawk dans l'État de New York, la société d'État devra exporter ce pourcentage, quelle que soit sa production totale. Même en cas de chute de la production intérieure globale, Hydro Québec ne pourra pas réaffecter sa production pour répondre à la demande intérieure aux dépens de ses contrats d'exportation¹. On constate donc que les pénuries ou excédents d'hydroélectricité causés par le changement climatique auront des répercussions sur les exportations comme sur la consommation intérieure. Il n'en reste pas moins que la modélisation de ces changements est pratiquement impossible. Les facteurs qui agissent sur la production et la valeur des produits canadiens sur le marché international sont si nombreux qu'il est impossible de concevoir un système capable de modéliser les effets des facteurs de changement climatique et de respecter la constance de tous les autres. Les résultats ne seraient guère utiles dans un sens comme dans l'autre.

La réponse du Canada aux conséquences du changement climatique sur le commerce international pourrait même avoir des retombées dans le domaine de la politique étrangère. Dans une reprise de la célèbre affaire thons-dauphins soumise au GATT en 1991, il se peut que le Canada décide d'imposer à ses partenaires commerciaux des mesures commerciales liées à l'environnement s'il estime qu'ils ne respectent pas l'esprit des restrictions issues de négociations multilatérales (Thomas, 1997). Il n'est pas probable non plus que le Canada décide de s'imposer de nouvelles restrictions environnementales dans l'espoir que d'autres pays lui emboîteront le pas. De plus, le Canada s'opposera aux restrictions commerciales imposées à ses exportations si un autre pays prétend qu'il ne respecte pas ses nouvelles obligations résultant du changement climatique (Fawcett, 1997, communication personnelle). Il se peut également que les résultats économiques des fluctuations de production causées par le changement climatique modifient la position du Canada au sein du GATT et/ou de l'ALÉNA. En général, les pays souscrivent aux initiatives commerciales qui concordent avec leur politique économique intérieure. Par exemple, le Canada a toujours appuyé les restrictions à l'importation des produits agricoles. Dans les nouvelles conditions climatiques, il se peut que le Canada ait un fort excédent de produits à vendre et revienne sur sa position relative aux obstacles à l'importation. Enfin, il se pourrait que le changement climatique modifie les migrations internationales de la faune, ce qui accélérera sans doute la révision des traités tels que la Convention sur la conservation des espèces migratoires appartenant à la faune sauvage.

¹ L'ALÉNA, comme l'Accord de libre-échange Canada-États-Unis, (ALE) prévoit une exemption à cette disposition au titre de la « sécurité nationale », mais la définition d'une situation de sécurité nationale a été sérieusement restreinte par rapport aux définitions de l'ALE et de l'OMC, ce qui rend beaucoup plus difficile l'invocation fructueuse de la clause de « sécurité nationale ».

Contrairement aux programmes relatifs au commerce international, à la sécurité et aux finances, le régime environnemental international n'a pas de principes directeurs ni même d'image mondialement reconnue. La difficulté que pose l'établissement d'un ordre du jour international sur l'environnement résulte partiellement de l'apparition récente de changements dans l'environnement provoqués par l'homme, comme le changement climatique (Sanderson, 1994), et de l'incertitude scientifique sur la façon d'atténuer ces changements. Toutefois, à l'issue des négociations de l'Uruguay Round du GATT, de nombreuses subventions écologiquement mal fondées ont fait l'objet d'un examen. Dans le secteur de l'énergie, on estime que les États-Unis dépensent environ 40 milliards de dollars US pour subventionner des sources d'énergie classiques, particulièrement les combustibles fossiles, et des pays en développement et très peuplés comme la Chine et l'Inde subventionnent des infrastructures à base de charbon (Thomas, 1997). Tout porte à croire que le Canada collaborera avec ces pays pour élaborer une réponse quelconque aux objectifs d'atténuation du changement climatique qui concorderait avec nos objectifs en matière de commerce international.

Compétitivité

D'aucuns pensent que la question qu'il faut poser n'est pas : « Quelles conséquences le changement climatique aura-t-il sur le commerce international? », mais plutôt : « Quelles conséquences la *législation de réponse au changement climatique* aura-t-elle sur le commerce international? » Beaucoup d'entreprises craignent qu'une multiplication des lois visant à réagir au changement climatique ne se solde par un plus grand nombre de règlements et de cibles quant aux émissions et donc par une augmentation des coûts de production, ce qui sapera leur compétitivité à l'étranger. C'est pourquoi elles font pression sur le gouvernement canadien pour que celui-ci refuse de souscrire à des cibles « irréalistes ». Ces craintes sont encore plus fortes sous l'actuel régime de libre-échange, selon lequel les entreprises canadiennes qui doivent se conformer à des normes environnementales relativement strictes font concurrence aux entreprises d'autres pays qui n'imposent pas ce genre de normes (Richardson, 1992). Il n'en reste pas moins que le Canada s'est classé quatrième dans un récent sondage du Forum économique mondial sur la compétitivité. Dans ce sondage, les normes environnementales se sont classées au dernier rang des facteurs auxquels les investisseurs attachent le plus d'importance lorsqu'ils décident de l'endroit où ils engageront de nouveaux investissements. Parmi les autres facteurs devant les normes environnementales au classement, il y avait : le rapatriement des bénéficiaires, le respect des contrats, la croissance du marché, la taille du marché, la productivité des travailleurs, l'impôt sur les sociétés, les risques d'expropriation, les infrastructures, le processus d'approbation, la qualification de la main-d'oeuvre et la propriété intellectuelle (Drohan, 1997). La question de la compétitivité a été débattue des deux côtés (et nous n'en débattons pas ici) sans que soit atteint un consensus, mais il faut que les entreprises commerciales et les instances environnementales sachent clairement que les politiques de réponse au changement climatique et la politique commerciale doivent être complémentaires si l'on veut que les unes et les autres soient fructueuses à long terme.

SÉCURITÉ

Le changement climatique et ses effets pourraient avoir des implications pour la sécurité du Canada. Sur le plan national, on entend par sécurité les mesures prises pour amenuiser les risques et/ou accroître la sécurité de la population. Nous nous pencherons ici sur les effets du changement climatique sur deux types de sécurité, la sécurité alimentaire et la sécurité militaire.

Sécurité alimentaire²

La Banque mondiale définit la sécurité alimentaire comme le fait pour tous les peuples d'avoir accès en permanence à une alimentation suffisante pour mener une vie active et saine (Chen et Kates, 1994). À l'échelle nationale, la sécurité alimentaire désigne la suffisance des disponibilités alimentaires nationales, sous réserve que les populations de toutes les régions bénéficient d'un accès égal à ces disponibilités. On peut voir dans la sécurité alimentaire un sous-ensemble de la sécurité au sens classique, en ce qu'un pays qui parvient à nourrir ses habitants court moins de risques de famine, de malnutrition et/ou de maladies liées à l'alimentation. En outre, l'insécurité alimentaire du monde en développement peut avoir des répercussions sur la sécurité du Canada en causant un afflux de réfugiés (problème qui est abordé plus loin dans ce document). Bien que la sécurité alimentaire soit éminemment vulnérable aux fluctuations annuelles du climat, de la politique agricole nationale et de la conjoncture économique internationale (Appendini et Liverman, 1994), vu l'abondance de ses ressources agricoles, le Canada s'en soucie peu. Au contraire, il exporte des aliments et constitue même un étalon de la sécurité alimentaire pour d'autres pays. Selon Statistique Canada, les exportations nettes de produits agricoles et piscicoles du Canada se sont chiffrées à 19 466,7 millions de dollars en 1995, le gros étant principalement destiné aux États-Unis.

Chen et Kates (1994) estiment que les disponibilités alimentaires mondiales devront tripler ou même quadrupler pour subvenir aux besoins d'une population planétaire que l'on évalue à 10 milliards d'êtres humains d'ici l'an 2060. Il est possible que les progrès des agrotechnologies permettent d'y arriver, auquel cas la situation profitera avant tout aux pays développés. Mais il faut ajouter que les progrès agrotechnologiques sont limités par les effets concomitants du changement climatique : érosion du sol, pertes d'eau et dégâts causés par les insectes. Pour bien saisir les effets du changement climatique sur la sécurité alimentaire, nous avons besoin d'instruments comme des scénarios de l'évolution du climat en fonction du temps, des données et des modèles régionaux des ressources agricoles et naturelles, des études de cas et des modèles au niveau de la communauté, des analyses de l'offre et de la demande des circuits alimentaires, des modèles socio-économiques nationaux et, enfin, des modèles nationaux et internationaux des circuits alimentaires (Downing et Parry, 1994).

Le Canada a la chance de ne pas être obligé d'opérer de profonds changements dans ses systèmes de production et de distribution de produits agricoles et alimentaires pour assurer sa sécurité

² Pour une analyse plus fouillée du changement climatique et de la sécurité alimentaire, voir N. Rosenberg et M. Scott, « Implications of policies to prevent climatic change for future food security » et V. Ruttan, D. Bell, et W.C. Clark, « Climate change and food security: agricultural, health and environmental research », dans *Changement de l'environnement planétaire*, vol. 4, n° 1, 1994.

alimentaire. Comme nous l'avons vu plus haut, s'il se produit une baisse de la production agricole causée par le changement climatique, le Canada sera sans doute contraint d'importer des denrées qu'il cultivait auparavant. Le Canada a également le bonheur d'avoir une frontière paisible avec les États-Unis, son principal partenaire commercial et son pourvoyeur probable de denrées manquantes. Les relations commerciales qui existent depuis longtemps entre le Canada et les États-Unis mettront en quelque sorte le Canada à l'abri des pénuries alimentaires futures dues au changement climatique.

Sécurité militaire

Les effets du changement climatique sur la sécurité militaire sont beaucoup plus difficiles à préciser. Malgré l'abondance de textes sur le rapport entre l'environnement et les conflits armés (Homer-Dixon, 1991, 1994; Levy, 1995; Hauge et Ellingsen, 1997), cette littérature est presque exclusivement de nature théorique ou axée sur les régions en développement. Or, la situation géographique relativement isolée du Canada le rend moins vulnérable aux menaces territoriales directes de forces militaires étrangères. Même l'Arctique canadien, la région la plus directement menacée sur le plan de la sécurité par la Russie, est essentiellement exposée à des actions indirectes comme des déversements de produits chimiques ou de polluants, plutôt qu'à une attaque directe lancée par des forces armées.

Le tome II de la présente étude concerne les conséquences du changement climatique sur l'Arctique. Même si l'on prévoit que le réchauffement de la planète se situera entre 1,5 et 3,5 degrés Celsius, il sera inégalement réparti selon la latitude. Tout porte à croire que les régions proches de l'équateur connaîtront un réchauffement minime, contrairement aux régions polaires qui connaîtront le réchauffement le plus marqué; l'Arctique devrait se réchauffer deux à quatre fois plus que la moyenne mondiale (Milieu Arctique, 1991), alors que les hausses de température pourront dépasser les normales de 10 °C selon la région et le moment de l'année. Cette situation peut entraîner une hausse des précipitations de l'ordre de 10 à 50 % l'été et jusqu'à 60 % l'hiver (Tucker, 1992), ce qui rendra l'Arctique plus chaud et plus humide, avec des brouillards côtiers résultant d'une augmentation des conditions d'eau libre et d'une hausse globale de l'humidité.

Un Arctique plus humide et météorologiquement plus instable nécessitera une plus grande présence des météorologistes militaires pour déterminer l'étendue des effets du changement climatique, particulièrement d'une migration du pergélisol, sur des infrastructures de défense comme les pistes, les routes, les barrages, les réservoirs et les installations radar. Parmi les activités actuelles du ministère de la Défense nationale (MDN) dans le Nord figurent l'interception d'aéronefs et de missiles, les missions de surveillance et de maintien de la souveraineté, les missions de recherche et sauvetage et enfin l'appui aérien tactique et logistique des exercices de l'armée de terre. Avec le réchauffement du climat, il est tout à fait concevable que beaucoup de ces rôles prennent de l'importance à l'avenir (Tucker, 1990). De plus, la hausse des températures entraînera sans doute un accroissement de la navigation et du trafic militaire dans les eaux arctiques, ce qui fera naître des préoccupations en matière de politique étrangère, car le Canada doit déterminer comment justifier sa revendication de souveraineté sur le passage du Nord-Ouest comme « eaux intérieures », revendication faite en 1973 pour préserver les intérêts du Canada et l'environnement dans les eaux arctiques (Tucker, 1992).

Signalons par ailleurs que le mandat du MDN n'est pas seulement d'assurer la sécurité militaire, mais d'aider les organismes locaux à maintenir la sécurité civile, et qu'en tant que ministère possédant le plus fort contingent de personnel dans le Nord, c'est à lui qu'incombera la tâche d'aider à la lutte contre les feux de forêt et d'autres catastrophes écologiques (Tucker, 1992). Malheureusement, même s'il est facile de recenser ces besoins militaires additionnels dans l'Arctique, il n'existe aucune documentation qui prédise leur survenue. Il est donc impossible pour l'heure de chercher à quantifier les coûts qui résulteront d'un tel niveau d'activité. Des études plus fouillées ont été préconisées (Judge *et al.*, 1991; NATO CCMS Pilot Study, 1996), et cette région nécessitera à coup sûr une analyse approfondie des politiques, mais étant donné que l'Arctique n'est pas considéré comme une menace sérieuse pour la sécurité du Canada, ce genre d'étude risque de céder le pas à d'autres projets plus urgents.

RÉFUGIÉS

La définition la plus courante de *réfugié* est tirée de la Convention de Genève relative au statut des réfugiés selon laquelle un « réfugié au sens de la Convention désigne toute personne qui, craignant avec raison d'être persécutée du fait de sa race, de sa religion, de sa nationalité, de son appartenance à un groupe social ou de ses opinions politiques, se trouve hors du pays dont elle a la nationalité » (Black, 1994). La reconnaissance du statut de réfugié est toutefois laissée à la discrétion du pays d'accueil, et la définition ci-dessus traduit l'idée datant de la guerre froide selon laquelle les réfugiés fuient des persécutions politiques (à savoir le communisme) et doivent démontrer qu'ils ont souffert *individuellement* avant de se voir accorder ce statut. Mais les réfugiés de l'environnement ne sont pas visés par cette définition, car ils souffrent en tant que population et que ce phénomène n'est reconnu par le régime international des réfugiés que depuis 10 à 15 ans (Ramlogan, 1996). C'est pourquoi les réfugiés de l'environnement ne sont pas encore considérés comme une catégorie de réfugiés légitimes et par conséquent admissibles.

On peut définir les réfugiés de l'environnement comme des gens qui ont été contraints de quitter leur habitat traditionnel, à titre provisoire ou permanent, à cause d'une catastrophe écologique importante (naturelle et/ou déclenchée par l'homme) qui menaçait sérieusement leur existence et/ou compromettrait leur qualité de vie (El-Hinnawi, 1985). Les réfugiés de l'environnement sont souvent subdivisés en différents groupes dans la littérature : ceux qui ont été déplacés par des catastrophes naturelles et/ou des accidents industriels, ceux qui ont été déplacés par des changements écologiques à long terme ou irréversibles, et ceux qui sont déplacés par une détérioration de l'environnement (McGregor; 1993, Jacobson, 1988). Même si les fondements politiques et économiques du statut de réfugié comportent souvent des éléments environnementaux, nous ne nous pencherons dans cette étude que sur les réfugiés dont le motif primordial du déplacement est un endommagement et/ou une dégradation de l'environnement.

Des gens deviennent réfugiés de l'environnement lorsque leur terre est saccagée et devient impropre à l'habitation humaine à cause a) d'une dégradation de l'environnement, ou b) d'un événement météorologique (ou anthropique) bref mais catastrophique. Le changement climatique peut contribuer à ces deux situations via :

- l'élévation du niveau de la mer, qui entraîne la migration de populations;
- l'augmentation du puisage de la nappe phréatique, qui aboutit à une sécheresse;
- le changement des régimes pluviométriques qui conduit à la sécheresse, à des inondations, à la désertification et à l'érosion des sols, et donc rend arides les terres arables;
- l'apparition de vecteurs de maladies dans de nouvelles régions, ce qui entraîne une augmentation des maladies;
- le changement des régimes météorologiques, qui oblige à évacuer des régions subissant une augmentation des phénomènes extrêmes comme les tempêtes et les cyclones;
- l'altération des régimes de croissance des cultures, aboutissant à la famine.

À l'heure actuelle, c'est surtout la dégradation des sols qui crée des réfugiés de l'environnement, mais l'élévation du niveau de la mer pourrait bientôt prendre le premier rang (Jacobson, 1988).

Selon les estimations courantes, il y a environ 10 millions de réfugiés de l'environnement, et 17 millions de réfugiés d'autres types; les scénarios de poursuite des émissions de CO₂ suggèrent que ce nombre pourrait bien atteindre 150 millions d'ici 2050 (Jacobson, 1988; Myers, 1993). Ces estimations sont toutefois une affaire de jugement et, même si ce nombre de 150 millions de réfugiés dans le monde était deux fois trop élevé, on n'en demeurerait pas moins à la merci d'une crise sans précédent. L'immense majorité des réfugiés de l'environnement actuels appartient au monde en développement (Ramlogan, 1996) et, pour ceux d'entre eux qui pourront émigrer vers l'Amérique du Nord, il se peut bien que le Canada soit la destination de prédilection.

Le Canada est signataire de la Convention relative au statut des réfugiés (Genève, 1951) et il souscrit entièrement à la définition de « réfugié » qu'on y trouve; les personnes qui revendiquent le statut de « réfugié » économique ou de l'environnement ne sont pas admissibles au Canada pour ces motifs. En dépit d'un certain assouplissement de la définition telle qu'elle est interprétée par le Canada et les autres pays signataires (comme la définition de ce qui constitue un groupe social), les personnes qui fuient une situation environnementale précaire ne sont pas considérées comme des réfugiés valables (Gorman, 1997, comm. pers.).

L'idée maîtresse qui justifie une intervention internationale pour venir en aide aux réfugiés réside dans la notion que les réfugiés sont un fardeau et que ce fardeau doit être partagé par d'autres États (McGregor, 1993). Ce fardeau, qui était jusque-là qualifié d'économique, a désormais un volet écologique important. Les pays d'où risquent de venir un grand nombre de réfugiés de l'environnement du fait de l'élévation du niveau de la mer, de récoltes déficitaires et d'autres conséquences du changement climatique sont le Bangladesh (jusqu'à 15 millions), l'Égypte (jusqu'à 14 millions) et la Chine (jusqu'à 26 millions) (Myers, 1993), et tout porte à croire que le Canada accueillera un certain nombre de ces personnes déplacées. Il s'ensuivra un alourdissement du fardeau écologique du Canada, même si celui-ci sera moins lourd que celui touchant les pays plus proches de la perturbation écologique.

Il en coûte déjà près de 8 milliards de dollars par an aux pays développés pour accueillir les réfugiés (Myers, 1993). À l'instar de la plupart des pays occidentaux, le Canada resserre depuis

une dizaine d'années sa définition de réfugiés admissibles et a ramené de 282 à 211 le nombre de ses chargés de mission pour les réfugiés à l'étranger (Dubyk, 1997, comm. pers.). Depuis la fin de la guerre froide, le nombre de réfugiés politiques est à la baisse, mais le nombre de réfugiés de l'environnement et économiques est à la hausse. On présume généralement que les réfugiés ont un impact beaucoup plus nocif sur l'environnement que la population locale (McGregor, 1993), et cette crainte d'une plus forte détérioration de l'environnement peut servir à justifier des politiques qui restreignent l'entrée des réfugiés, même s'il peut être particulièrement difficile de séparer l'impact écologique des réfugiés de celui d'autres activités humaines. Pour minimiser l'impact des réfugiés sur le pays d'accueil, on a avancé l'idée que les réfugiés ne doivent pas constituer plus de 10 % de sa population (Black, 1994). Quand on sait que le Canada compte actuellement environ 30 millions d'habitants, une telle formule donne un plafond de 3 millions de réfugiés admissibles, alors qu'en 1995, dernière année sur laquelle on dispose de données, il n'en a admis qu'environ 12 500. À moins que les facteurs écologiques ne soient liés aux droits traditionnels de la personne sur la scène internationale, il est peu probable que le Canada assouplisse sa politique d'immigration pour qu'elle englobe les réfugiés de l'environnement (Scofield, 1997, comm. pers.).

Les réfugiés apportent souvent dans leur pays d'accueil ce que l'on perçoit comme des coutumes, des pratiques religieuses et des habitudes alimentaires singulières (Myers, 1993). Ces différences culturelles provoquent souvent des heurts avec la population locale, lesquels ont parfois des retombées politiques. En outre, un afflux de réfugiés met souvent à rude épreuve les services sociaux et les infrastructures matérielles du pays d'accueil (Ramlogan, 1996). Les réfugiés ont besoin de papiers d'identité, de permis de travail et d'autres documents que les gouvernements délivrent à leurs citoyens, ils doivent surmonter des problèmes de langue et de compétences professionnelles, et le gouvernement d'accueil se doit de pourvoir aux besoins des réfugiés qu'il admet. Il va sans dire que le Canada ne supportera pas le même fardeau financier et territorial qu'un pays pauvre du tiers monde en acceptant de nombreux réfugiés, essentiellement parce qu'il en limite le nombre. Toutefois, le Canada verse des prestations d'aide sociale à ses réfugiés, et le budget du ministère de l'Immigration et de la Citoyenneté est demeuré relativement stable à près de 592 millions de dollars depuis le milieu des années 1990 (Dubyk, comm. pers.). À mesure qu'augmente le nombre des réfugiés, l'accueil que le Canada leur réserve risque de se détériorer.

En outre, le fait de subvenir aux besoins des réfugiés, surtout dans une catégorie relativement floue comme celle « de l'environnement », risque d'avoir des répercussions négatives sur la politique étrangère du gouvernement d'accueil. Advenant que le Canada accepte des réfugiés de l'environnement d'un autre pays, cela risque d'être interprété comme une critique à l'égard de la situation qui prévaut dans ce pays (Ramlogan, 1996). Selon le pays d'où proviennent les réfugiés, il se peut que le Canada ne veuille pas les accueillir pour ne pas nuire à ses relations avec ce pays.

La question se complique du fait que l'on pense que les réfugiés migrent pour des raisons de force majeure, et non pas volontairement comme les réfugiés économiques qui quittent leur pays en quête d'un meilleur sort. Mais, étant donné qu'il y a souvent de nombreuses causes simultanées de migration (conflits politiques, détérioration de l'environnement, déclin économique), il est de plus en plus difficile de classer les réfugiés en deux groupes distincts. Si un pays développé décide d'admettre des réfugiés de l'environnement, l'accueil réservé à l'ensemble des réfugiés peut se

trouver mitigé. L'Australie pourrait bien devenir la terre d'asile des réfugiés de l'environnement de la région de l'Asie-Pacifique (Nolch, 1994), et la réaction du gouvernement australien face à cette vague d'immigrants risque d'être vue comme un précédent par le Canada et d'autres pays développés dans leurs réactions futures à ce même problème. À l'issue du Sommet de Rio de 1993 sur l'environnement et le développement, le Haut-Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés (HCR) s'est mis à songer sérieusement à la planification de programmes d'aide pour les réfugiés de l'environnement. Mais deux des pays qui ont participé au Sommet de Rio, le Honduras et la Turquie, ont décidé de refuser d'admettre des réfugiés, en invoquant des problèmes environnementaux (Black, 1994).

Étant donné que la migration est une mesure de dernier recours qu'on ne prend que lorsque la situation devient si critique que la vie elle-même est directement menacée, le nombre croissant de réfugiés de l'environnement doit être vu comme un indicateur significatif de l'étendue et de la gravité de la détérioration mondiale de l'environnement (Jacobson, 1998). Des indicateurs de ce type inciteront le Canada et d'autres pays développés à élaborer des réponses stratégiques à l'éventualité de réfugiés de l'environnement. À ce titre, on pourrait exiger que toute aide financière internationale versée aux réfugiés de l'environnement comporte impérativement un volet obligatoire de protection de l'environnement (Westing, 1992). Cette aide pourrait alors servir à neutraliser ou à redresser la situation environnementale qui a poussé les gens à émigrer.

Pour résumer les répercussions que les réfugiés déplacés par le changement climatique auront sur le Canada, nous pouvons dire que beaucoup des catastrophes écologiques qui surviennent dans les camps de réfugiés ne s'appliquent pas à la situation qui prévaut ici. Il n'en reste pas moins que l'augmentation du nombre de réfugiés admissibles mettra à l'épreuve des ressources physiques comme l'eau et l'alimentation, le logement et les services sanitaires, et des ressources économiques locales comme l'emploi et les prestations d'aide sociale. Le stress qui s'exercera sur ces ressources sera directement proportionnel au nombre de réfugiés admis.

CONCLUSION

Un examen de la littérature consacrée à ces importants enjeux extraterritoriaux révèle de nombreuses lacunes et des domaines qui méritent une étude plus fouillée. Plusieurs tendances générales peuvent se dégager d'un tel exercice, même si les résultats précis sont impossibles à prédire.

C'est l'analyse du commerce international qui donne les résultats les plus imprécis. Les secteurs de l'agriculture, de la foresterie, des pêches et de l'énergie subiront tous à des degrés divers les contrecoups du changement climatique. Étant donné que le Canada est lourdement tributaire des exportations de ces quatre branches d'activité, sa balance commerciale sera elle aussi touchée. Quels que soient les secteurs qui bénéficieront ou souffriront des impacts du changement climatique, les politiques de réponse au changement climatique et la politique sur le commerce international doivent être complémentaires si l'on veut qu'elles atteignent leur objectif double, qui est d'atténuer les impacts de ce changement sans entraîner un trop lourd fardeau économique.

Les impacts du changement climatique sur la sécurité sont plus faciles à délimiter. La situation géopolitique du Canada le met à l'abri de la plupart des agressions militaires, tandis que la richesse de son secteur agricole et sa frontière paisible avec les États-Unis le protègent des caprices des fluctuations de la production agricole causées par le changement climatique. Par contre, étant donné que le changement climatique risque de provoquer des phénomènes météorologiques de plus en plus variables, il faut analyser plus à fond l'aide que peuvent apporter les forces nationales de défense aux autorités civiles en cas de catastrophe naturelle.

On ne sait pas quel impact le changement climatique aura sur le nombre des réfugiés de l'environnement qui viendront s'établir au Canada. Les estimations du nombre de personnes déplacées en raison des impacts du changement climatique vont jusqu'à 150 millions et, fort possiblement, seules les plus mobiles d'entre elles arriveront à se frayer un chemin jusqu'au Canada. Il s'ensuivra des pressions sans précédent sur les mécanismes d'assimilation des réfugiés, même si le coût exact est impossible à quantifier pour l'instant. Ce que l'on peut affirmer en revanche, c'est que le changement climatique aura des répercussions sur les intérêts du Canada à l'extérieur de ses frontières et que nous devons continuer à collaborer avec d'autres pays et organisations internationales à la planification de stratégies d'atténuation efficaces et à leur stricte application.

RÉFÉRENCES

Appendini, K. and D. Liverman (1994). *Agricultural Policy, Climate Change, and Food Security in Mexico* Food Policy. Vol. 19, No. 2, p. 149-164.

The Arctic Environment and Canada's International Relations. (1991). The Report of a Working Group of the National Capital Branch of the Canadian Institute of International Affairs. Ottawa: Canadian Arctic Resources Committee.

Black, R. (1994). *Forced Migration and Environmental Change: the Impact of Refugees on Host Environments*. Journal of Environmental Management. Vol. 42, p. 261-277.

Black, R and V. Robinson (eds). (1993). *Geography and Refugees: Patterns and Processes of Change*. New York, Halsted Press.

Charnovitz, S. (1995). *Regional Trade Agreements and the Environment*. Environment. Vol. 37, No. 6, 16-20, p. 40-45.

Chen, R. S., and Kates, R. W. (1994). *World Food Security: Prospects and Trends*. Food Policy. Vol. 19, No. 2, p. 192-208.

Costanza, R, J. Audley, R. Borden, P. Elkins, C. Folke, S.O. Funtowicz and Harris, J. (1995). *Sustainable Trade: A New Paradigm for World Welfare*. Environment. Vol. 37, No. 5, p. 16-20, 39-44.

Daly, H. E. (1993). *The Perils of Free Trade*. Scientific American. Vol. 51.

Daly, H. E. and J.B. Jr Cobb (1989). *For the Common Good*. Boston, Beacon Press.

Downing, T. E. and M.L. Perry (1994). *Introduction: Climate Change and World Food Security*. Food Policy. Vol. 19, No. 2, p. 99-104.

Drohan, M. (1997). *Canada 4th best competitor*. Globe & Mail, Wednesday, May 21, 1997, B1, B8.

Dubyk, S. (1997). Senior Policy Advisor, Resettlement-Refugees Branch, Citizenship and Immigration Canada. Communication personnelle.

El-Hinnawi, E. (1985). *Environmental Refugees*. Nairobi: United Nations Environmental Program.

Esty, D. C. (1994). *Greening the GATT*. Washington, Institute for International Economics.

Fawcett, P. (1997). Directeur adjoint, Division de l'environnement, ministère des Affaires étrangères et du Commerce international. Communication personnelle.

Gorman, J. (1997). Senior Advisor, Human Security Division, Department of Foreign Affairs. Communication personnelle.

Hauge, W. and T. Ellingsen (1997). *A Multivariate Approach to the Relationship Between Environmental Stress and Civil Conflict* Paper prepared for the 38th Annual Convention of the International Studies Association, Toronto, Canada, 18-22 mars 1997.

Homer-Dixon, T. F. (1991). *On the Threshold: Environmental Changes as Causes of Acute Conflict* International Security. Vol. 16, No. 2, p. 76-116.

Homer-Dixon, T. F. (1994). *Environmental Scarcities and Violent Conflict: Evidence from Cases* International Security. Vol. 19, No. 1, p. 5-40.

Jacobson, J. L. (1988). *Environmental Refugees: A Yardstick of Habitability*. Worldwatch Paper 86. Washington, DC, Worldwatch Institute.

Judge, A.S., Tucker, C.M. Pilon, J.A. and B.J. Moorman (1991). *Remote Sensing of Permafrost by Ground-Penetrating Radar at Two Airports in Arctic Canada* Arctic. Vol. 44, Supp. 1, p. 40-48.

Levy, M. (1995). *Is the Environment a National Security Issue?* International Security. Vol. 20, No. 2, p. 35-62.

Magraw, D. (1994). *NAFTA's Repercussions: Is Green Trade Possible?* Environment. Vol. 36, No. 2, p. 14-20, 39-45.

McGregor, J. (1993). *Refugees and the Environment* as found in Black, Richard, and Vaughan Robinson, eds. *Geography and Refugees: Patterns and Processes of Change*. New York, Halsted Press.

Von Moltke, K. (1992). *International Trade, Technology Transfer and Climate Change* as found in Mintzler, I. M. *Confronting Climate Change: Risks, Implications, and Responses*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.

Myers, N. (1993). *Environmental Refugees in a Globally Warmed World*. BioScience, Vol. 43, No. 11, p. 752-761.

NATO CCMS Pilot Study: Environment and Security in an International Context, State of the Art and Perspectives (1996). Interim Report. Compiled by the Ecologic-Centre for International and European Environmental Research, Berlin, and the Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam.

Nolch, G. (1994). *Australia could become target for environmental refugees*. Search. Vol. 25, p. 269.

Ramlogan, R. (1996). *Environmental Refugees: A Review*. Environmental Conservation. Vol. 23, No. 1, p. 81-88.

Richardson, S. (1992). *Overview on Trade, Environment & Competitiveness* as found in Trade, Environment & Competitiveness. Ottawa, National Round Table on the Environment and the Economy.

Sanderson, S. (1994). *North-South Polarity in Inter-American Environmental Affairs*. Journal of Interamerican Studies and World Affairs. Vol. 36, No. 3, p. 25-48.

Scofield, B. (1997). Senior Advisor, Refugee Branch, Citizenship and Immigration Canada. Communication personnelle.

Smit, B. (1989). *Le changement climatique et la position relative du Canada en agriculture*. Sommaire du changement climatique. SSC-89-01, Environment Canada.

Statistics Canada. (1995). Canadian International Merchandise Trade - cat. 65-001.

Thomas, U. P. (1997). *Environmental Trade and Governance: An Overview of the Research* Draft version presented at the 38th Annual Convention of the International Studies Association, Toronto, 18-22 mars 1997.

Thompson, M. C. (1993). *Southern Alberta's Cadillac Desert*, Great Plains Research. Vol. 3, p. 305-319.

Tucker, C. M. (1990). *Environmentalism and Environmental Change as it Affects Canadian Defence Policy and Operations: Part Three Arctic Issues*, ORAE Report No. R106. Ottawa, Operational Research and Analysis Establishment.

Tucker, C. M. (1992). *Canadian Defense Policy and Operations*. Mackenzie Basin Impact Study Interim Report No. 1, Appendix A12. Ottawa.

Watson, R., T. Marufu, C. Zinyowera and R.H. Moss (eds). (1996). *Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change: IPCC Technical Paper I*. Intergovernmental Panel on Climate Change Working Group II.

Westing, A. H. (1992). *Environmental Refugees: A Growing Category of Displaced Persons*. Environmental Conservation. Vol. 19, No. 3, p. 201-207.

Annexe A Exemples choisis d'instruments économiques visant à renforcer la conformité avec les politiques de réponse au changement climatique

Mesure	Impacts climatiques et autres impacts environnementaux	Impacts économiques et sociaux	Considérations d'ordre administratif, institutionnel et politique
Élimination des subventions	- Dépend de l'étendue des subventions existantes et du niveau de réduction	- Accroît le revenu réel à long terme - Modifie la répartition des revenus; l'effet dépend de cette nouvelle répartition	
Taxes intérieures	- Peuvent être conçues pour atteindre une cible internationale précise en matière d'émissions	- Favorisent la mise en place des mesures d'atténuation les plus rentables - Possibilité d'une taxe régressive sur les combustibles fossiles, mais son effet dépend de la redistribution des revenus	- Peuvent être liées aux systèmes existants de recouvrement de la taxe sur l'énergie, le cas échéant
Permis négociables	- Peuvent être conçus pour atteindre une cible internationale précise en matière d'émissions	- Favorisent la mise en place des mesures d'atténuation les plus rentables - Les effets dépendent de la nouvelle répartition des revenus	- Exigent un marché compétitif des permis - Les coûts administratifs dépendent de la conception du système - Les contrats à terme risquent de multiplier les risques de fluctuation des prix
Taxes harmonisées	- Peuvent être conçues pour atteindre une cible internationale précise en matière d'émissions	- Favorisent la mise en place des mesures d'atténuation les plus rentables - L'équité entre les pays dépend des paiements de transfert négociés	- Il existe peu de données sur la mise en application - Les politiques intérieures risquent de réduire l'efficacité de ces taxes
Quotas négociables	- Peuvent être conçus pour atteindre une cible internationale précise en matière d'émissions	- Favorisent la mise en place des mesures d'atténuation les plus rentables - L'équité entre les pays dépend de l'affectation des quotas	- Nécessitent un marché concurrentiel de quotas - Il existe peu de données sur la mise en application - Permettent une certaine souplesse dans le choix des politiques intérieures
Mise en oeuvre conjointe	- Permet de réduire les émissions par rapport aux niveaux qu'on enregistrerait autrement	- Opère le transfert des ressources et des technologies vers les pays d'accueil	- Les coûts administratifs risquent d'être élevés - Les projets peuvent être lancés rapidement

Source : D'après Watson et al., GIEC, 1996.

RÉVISEURS

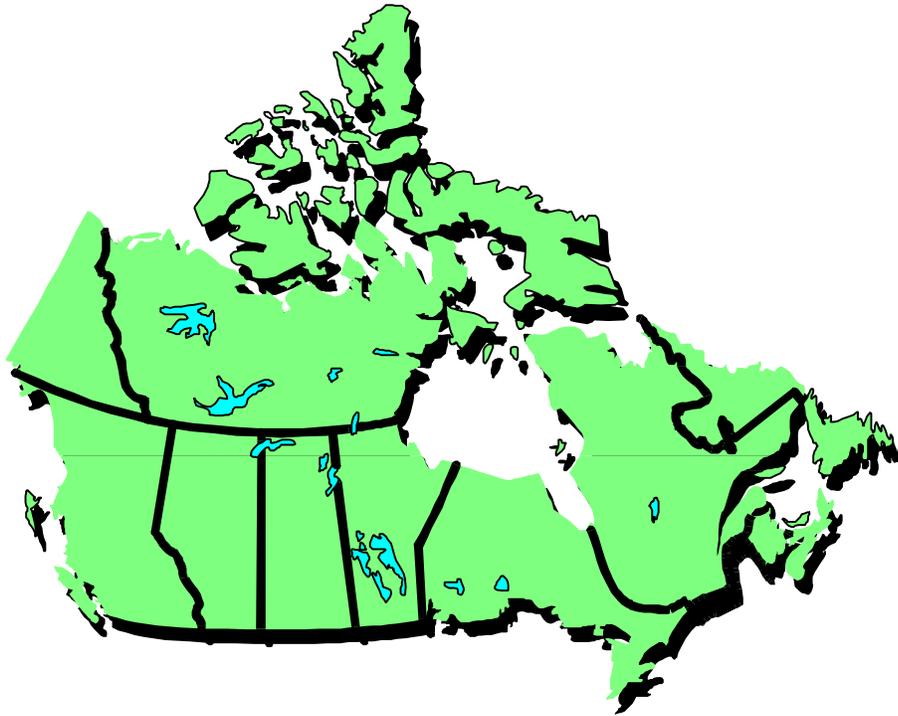
Nancy Averill
Conseillère politique
Table ronde nationale sur
l'environnement et l'économie
1, rue Nicholas, bureau 1500
Ottawa (Ontario) K1N 7B7
téléphone : (613) 943-0399
télécopieur : (613) 992-7385
naverill@nrtee-trnee.ca

Peter Fawcett
Directeur adjoint, Division de l'environnement
Ministère des Affaires étrangères et du Commerce international
125, promenade Sussex
Ottawa (Ontario) K1A 0G2
téléphone : (613) 992-0503
télécopieur : (613) 994-0064
peter.fawcett@extott15.x400.gc.ca

CHAPITRE CINQ

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET MOUVEMENTS DES ÉCHANGES ET DU COMMERCE INTÉRIEURS AU CANADA

*Nairne Cameron, Philippe Crabbé¹, Karim Eslamloueyan,
Daniel Lagarec, Nguyen Van Quyen*



1. L'institut de recherche sur l'environnement et l'économie, Université d'Ottawa, C.P. 450, Succ. A, Ottawa, Ontario K1N 6N5. Téléphone : (613) 562-5895, télécopieur : (613) 562-5873, courriel : crabbe@uottawa.ca

RÉSUMÉ

La littérature sur le commerce intérieur canadien relativement au changement climatique est rare et provient surtout d'Environnement Canada. Il existe très peu de statistiques sur les échanges interprovinciaux et il est reconnu que celles qui existent ne sont pas fiables. Statistique Canada travaille actuellement à corriger cette situation (projet visant à améliorer les statistiques économiques provinciales).

D'après la littérature, les avantages cumulatifs du changement climatique dépasseront probablement les coûts qui y sont rattachés pour l'ensemble de l'économie canadienne, mais la répartition géographique de ces avantages ne sera pas la même que celle des coûts. Le nord tiendra à en récolter les avantages, et le sud à en assumer les coûts, particulièrement le bassin des Grands Lacs, les basses terres du fleuve Saint-Jean et le sud de la Saskatchewan.

Les avantages nets que le nord retirera du changement climatique ne suffiront probablement pas à y attirer la population canadienne. Bien que ce point de vue ne se fonde sur aucune documentation, il se tient sur le plan économique. Les économies modernes comme celle du Canada reposent sur les connaissances et non plus sur les ressources naturelles. Les agglomérations sont également des centres de service et le secteur des services représente plus de 50 % du PIB canadien. Les ressources naturelles et l'agriculture ne contribuent que pour une petite fraction au PIB et à l'ensemble des emplois du Canada. Il n'en reste pas moins que les répercussions régionales peuvent être importantes dans les régions vulnérables.

INTRODUCTION

Sommaire de la littérature et critères d'évaluation

Le présent document fait état de la littérature existante, pas très volumineuse, sur les mouvements de produits et de services à l'intérieur du Canada, dans leur relation avec le changement climatique. La plupart des publications qui traitent des mouvements des échanges et du commerce à l'intérieur du Canada dans un contexte de changement climatique proviennent d'Environnement Canada.

Il est connu que les données canadiennes sur les échanges entre provinces et territoires présentent des lacunes. Statistique Canada (StatCan) s'emploie à remédier à cette situation. En effet, le Projet visant à améliorer les statistiques économiques provinciales (PIPES) servira en bout de ligne d'instrument pour la répartition des sommes à verser de la taxe harmonisée sur les produits et services. L'organisme produira d'ici à l'an 2000 un tableau des entrées-sorties qui illustrera le mouvement des produits sur le territoire canadien en recueillant des statistiques auprès des entreprises commerciales et en les classant conformément au Système de classification des industries nord-américaines (CSNAI) et en modifiant les renseignements recueillis au cours des enquêtes menées auprès des entreprises commerciales et des ménages (personne-ressource à StatCan : Philip Smith).

Le meilleur indicateur des mouvements interprovinciaux des produits et des services sont les données de 1996 de StatCan, Transport et entreposage dans les provinces (la date de la base de données CANSIM est requise à titre de référence). La partie qui traite des échanges interprovinciaux représente 16 % de toutes les marchandises transportées et entreposées (dont la valeur en 1996 atteignait environ 52 milliards de dollars); ce pourcentage inclut les marchandises provenant d'autres pays aussi bien que d'autres provinces. Les Territoires du Nord-Ouest sont l'entité régionale qui compte la plus grande proportion de mouvements de transport et d'entreposage interprovinciaux (29 %); ils sont suivis de la Nouvelle-Écosse (24 %), de la Saskatchewan (22 %) et de Terre-Neuve et de l'Île-du-Prince-Édouard (21 % chacune).

L'éventuel redéploiement de la population constitue la plus grande incertitude relativement aux mouvements intérieurs des échanges et du commerce à la suite du changement climatique. Le nord du Canada récoltera bon nombre des gains résultant du changement climatique; le sud du pays en assumera une bonne part des coûts. Cette répartition inégale des avantages et des coûts incitera probablement la population à se déplacer vers le nord. Par contre, les facteurs de production non rattachés au sol, notamment le capital physique et humain et la proximité des marchés, pèseront dans la balance de la répartition géographique des avantages économiques nets, qui peut différer de celle qui n'est dictée que par les facteurs rattachés au sol. Les économies modernes reposent sur les connaissances et non plus sur les ressources naturelles.

La redistribution de la population en raison du changement climatique variera principalement en fonction de la durabilité accordée à celui-ci. Une durabilité faible permet de substituer le capital naturel par le capital humain ou physique (paradigme néo-classique). Une durabilité forte limite les possibilités de substitution au capital naturel non critique. Le capital critique est la partie du capital qui est essentielle, c'est-à-dire sans laquelle on ne pourrait pas produire certains biens, ou qui fournit des services uniques, par exemple, la biodiversité. Autrement dit, une durabilité faible met l'accent sur les possibilités de remplacer le capital naturel, tandis qu'une durabilité forte met l'accent sur la complémentarité du capital naturel par rapport à d'autres facteurs de production. La documentation parcourue ne met pas suffisamment l'accent sur les possibilités importantes d'adaptation et d'atténuation, c'est-à-dire de la durabilité faible.

La littérature consultée nous permet de tirer les conclusions suivantes :

Les ressources en eau du sud du Canada, connaîtront, du fait du changement climatique, une augmentation de l'évaporation et une diminution des précipitations. Ce sera vrai particulièrement dans le cas du bassin des Grands Lacs et du sud des Prairies où les sécheresses seront plus fréquentes. La diminution de la réserve d'eau douce aura un effet de rétroaction négative sur la consommation d'eau qui devrait augmenter pour répondre aux besoins de l'irrigation et de la l'utilisation domestique (p. ex., l'arrosage des pelouses) et peut-être des dérivations à grande échelle.

Pour le secteur agricole canadien, le changement climatique pourrait avoir dans l'ensemble un effet favorable sur la production de blé et de maïs-grain, ce qui ferait augmenter les exportations et réduirait les importations de maïs-grain du Midwest, et un effet moindre dans le cas de l'orge et de l'avoine. Les répercussions régionales du changement climatique sur l'agriculture canadienne

pourraient être bien différentes. Le changement climatique pourrait déplacer vers le nord les terres agricoles disponibles, mais la qualité du sol pourrait faire obstacle aux avantages des hausses de température. Dans la région des Prairies, les légères augmentations des précipitations pourraient être plus que neutralisées par la forte augmentation de l'évapotranspiration, particulièrement dans le nord de la Saskatchewan, ce qui réduirait la diversité des agroclimats et des cultures. Les sécheresses seront plus graves, ce qui fera augmenter la demande en eau douce pour l'irrigation. Bien que l'on s'accorde en général pour dire que la production de blé diminuera dans la région des Prairies, l'adaptation par des changements mineurs aux dates d'ensemencement, au choix des cultures et aux techniques de gestion pourrait réduire sensiblement l'impact du changement climatique sur l'agriculture dans cette région; cependant, les opinions diffèrent à ce sujet dans la littérature. L'impact sur l'agriculture de l'Alberta pourrait être faible, parce que cette province dépend beaucoup des mésoclimats et microclimats; cette conclusion provient de l'observation de la résilience aux phénomènes climatiques extrêmes plutôt qu'à un changement climatique à long terme encore à venir. En Ontario, la culture du maïs et du soja se déplacera vers le nord. Le Québec tirera avantage de l'augmentation du cumul de degrés-jours qui fera allonger les saisons de croissance et qui sera profitable pour la production de pommes et de raisins. Au Nouveau-Brunswick, les inondations du tronçon inférieur de la vallée du Saint-Jean pourraient être plus fréquentes. En général, la saison de croissance pourrait changer partout au Canada, et parfois être allongée. La demande d'eau douce pour l'irrigation augmentera, particulièrement dans le Midwest américain, ce qui aura des répercussions pour les Grands Lacs et les Prairies. Le changement climatique pourrait avoir une incidence sur l'importance et la fréquence des infestations de ravageurs et des maladies des plantes.

Dans le cas de la production énergétique, les répercussions les plus importantes du changement se feront sentir probablement dans le secteur de la production hydroélectrique du bassin des Grands Lacs à cause de la baisse du niveau de l'eau - il n'y a pas unanimité quant aux autres bassins hydrographiques - et sur la production des combustibles fossiles en mer. L'Ontario devra construire plus de centrales thermiques à cause de la perte du potentiel hydroélectrique. L'eau nécessaire au refroidissement des centrales nucléaires pourrait se faire rare. Par contre, le potentiel hydroélectrique augmentera dans la région de la baie James. La demande en électricité pour le chauffage baissera considérablement en Ontario et au Québec, tandis qu'elle pourrait monter légèrement l'été pour la climatisation. Par ailleurs, la demande accrue en eau pour l'irrigation fera augmenter la consommation d'électricité pour le pompage. La production des combustibles fossiles en mer pourrait bénéficier de la disparition de la glace de mer et des icebergs (malgré le vêlage d'icebergs); l'augmentation de la hauteur des vagues qui s'ensuivra pourrait accroître l'érosion des rives et nuire aux structures de longue durée érigées en mer et le long des côtes. La fonte du pergélisol pourrait affecter les pipelines du Nord. En Alberta, la production et la consommation d'électricité ne seront pas touchées outre mesure par le climat, la demande en gaz naturel pour le chauffage sera réduite et l'utilisation de pointe moins marquée. Dans les basses terres du Saint-Jean au Nouveau-Brunswick, il faudra peut-être déplacer des réseaux de production à cause du risque d'inondation. Si la répartition de la population change considérablement pour se déplacer vers le nord (une éventualité peu probable, comme nous l'avons déjà indiqué), les régimes de consommation d'énergie pourraient également changer considérablement.

La pêche sera touchée par une migration des salmonidés vers le nord à cause de la baisse de la salinité côtière et de la hausse des températures, ce qui influera sensiblement sur l'économie de la Colombie-Britannique. En général, les aires de répartition des espèces de poisson changeront, mais l'état actuel des connaissances ne nous permettent pas de prévoir le changement; des espèces exotiques d'eaux chaudes envahiront les Grands Lacs. Le phytoplancton sera plus abondant, mais la production halieutique estivale pourrait diminuer à cause de la perte d'oxygène. Les habitats de milieux humides seront également touchés. L'aquaculture bénéficiera du réchauffement de la température et les saisons de pêche pourraient s'allonger.

Les forêts se déplaceront certainement vers le nord aux dépens des forêts de toundra qui perdront beaucoup de terrain; la diminution importante de la forêt boréale sera probablement compensée par une augmentation substantielle de la biomasse et les forêts de feuillus croîtront en superficie et en biomasse. Les risques de feux de forêt, qui se sont sensiblement accrus depuis les années 1980, et la présence de ravageurs augmenteront considérablement dans la forêt boréale. L'Alberta perdrait à cause du coût plus élevé du transport du bois. Le changement climatique rendrait économiquement et socialement inadéquates les stratégies de séquestration du carbone par la transformation des terres agricoles en forêt. L'exploitation forestière d'hiver pourrait être plus difficile à cause de l'augmentation des précipitations dans les régions nordiques.

Les impacts du changement climatique sur les loisirs tiennent généralement aux étés plus longs et aux hivers plus courts. Le ski s'en trouvera désavantagé, tandis que le golf y gagnera. Moins de résidents quitteront le Canada pour s'adonner à des loisirs d'été et plus d'étrangers visiteront le Canada. L'impact sur les Rocheuses est ambiguë à cause des incertitudes qui subsistent quant aux précipitations. La fréquence accrue des incendies peut nuire aux activités récréatives d'été dans les régions boisées. La taille, l'emplacement et la sélection des parcs seront touchés. La plus grande fréquence des sécheresses pourra causer des conflits d'utilisation du sol et nuire aux caractéristiques des parcs déjà mentionnées.

L'effet net du changement climatique sur les transports semble positif. Encore une fois, il varie selon les régions. Dans le bassin des Grands Lacs, le transport maritime sera avantagé par l'absence continue de glace; cependant, la baisse des niveaux d'eau forcera à réduire la charge des navires et fera monter les coûts d'infrastructure parce qu'il faudra draguer plus souvent. Les provinces de l'Atlantique seront avantagées par le transport maritime en eau libre de glace, mais elles souffriront de la concurrence venant des ports du bassin des Grands Lacs et de Churchill, au Manitoba. Encore une fois, le réseau des transports dans le tronçon inférieur du Saint-Jean est très vulnérable aux inondations. Au Nord, la saison de la navigation se prolonge (le transport par barge est le principal mode de transport), mais les précipitations plus fréquentes pourraient nuire au trafic aérien. L'élévation du niveau des océans aura une influence sur les infrastructures portuaires des deux côtes. Le changement de la répartition de la population touchera tous les modes de transport, particulièrement les routes et les voies ferrées, dont les prix augmenteront.

Même si le nord du pays retirera la plupart des avantages du changement climatique et que le sud en assumera la plupart des coûts, la répartition régionale de ces coûts et avantages peut varier considérablement. On peut prédire sans trop se tromper les pressions qui seront exercées sur l'eau du bassin des Grands Lacs et sur le sud des Prairies, en raison de la fréquence accrue des

sécheresses, et sur le sud-est du Nouveau-Brunswick, à cause de l'augmentation du risque d'inondation.

La littérature résumée ci-dessus permet de faire les commentaires suivants

Les échanges et le commerce intérieurs s'intensifieront probablement dans les régions nordiques (où se trouve la plus grande proportion de transport interprovincial et d'entreposage au Canada) qui pourraient devenir la nouvelle région pionnière. Par contre, les grandes agglomérations, c'est-à-dire les marchés et centres de service, resteront aux mêmes endroits. L'emplacement des activités manufacturières dépend moins de l'emplacement des ressources naturelles que des coûts de la main-d'oeuvre et de la disponibilité des services. Le secteur des ressources naturelles et l'agriculture occuperont moins en moins de personnes et contribueront moins en moins au produit intérieur brut dans les économies modernes. Le facteur naturel le plus rare sera l'eau douce, un capital naturel vital, dans certaines régions, comme celle des Grands Lacs.

Lacunes dans la littérature et les données

La prochaine étape consiste à passer en revue les documents de l'Étude pan-canadienne afin de vérifier si les conclusions tirées de la littérature sont toujours valables. À première vue, l'EPC n'invalide pas les conclusions dans leur ensemble. Une fois que de nouvelles conclusions ou hypothèses seront tirées, il sera possible de déduire les modèles probables que suivront les échanges intérieurs. Il faudra attendre la publication du tableau des entrées-sorties interprovinciales de 1997, qui devrait paraître en l'an 2000, avant d'en arriver à un scénario précis. On pourrait alors utiliser une méthodologie semblable à celle du MINK (Frederick *et al.*, 1994), conjuguée au modèle G-cubed (McKibbin *et al.*, 1995) par souci d'uniformité avec le modèle des scénarios économiques mondiaux¹.

ÉTUDE DOCUMENTAIRE

Nous avons exploré plusieurs avenues à la recherche de documents traitant de l'impact du changement climatique sur les mouvements intérieurs des produits et des services au Canada.

Les sept secteurs clés étudiés sont les suivants :

- 1) Agriculture
- 2) Énergie
- 3) Pêche
- 4) Foresterie
- 5) Loisirs/Tourisme
- 6) Transports
- 7) Ressources en eau

¹ Frederick, K.D. et N.J. Rosenberg (1994), *Climate Change*, 28, numéro spécial sur l'évaluation de l'impact du changement climatique sur les systèmes de ressources naturelles.; McKibbin, W.J. et P.J. Wilcoxon (1995), *The Theoretical and Empirical Structure of G-Cubed*, Brookings Institution, mnss.

Nous avons mis l'accent sur le secteur des transports, puisqu'il est un indicateur direct des mouvements intérieurs des produits et des services.

Méthodologie de la recherche documentaire

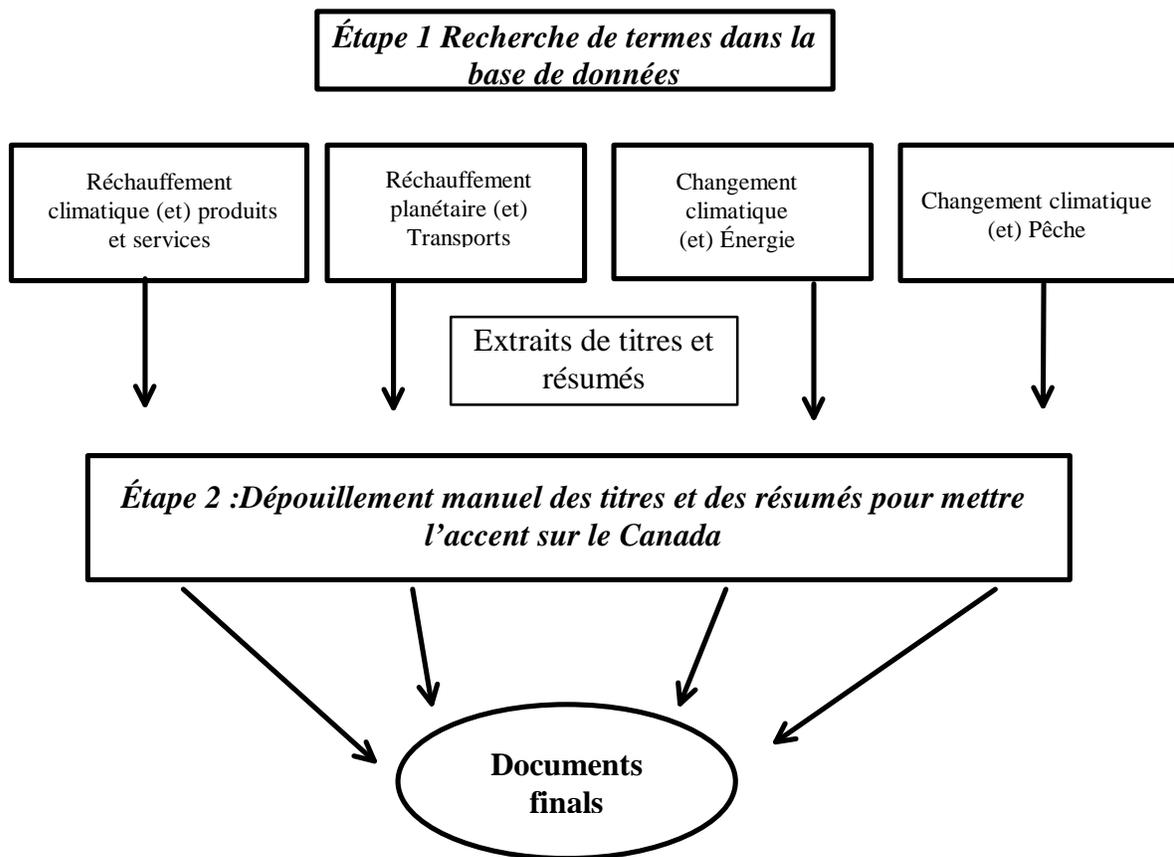
Un exemple de la recherche est présenté à la figure 5.1. Un processus de recherche plus détaillé dans la littérature sur les transports est présenté en annexe.

Recherche par mot clé :

Mots clés généraux utilisés pour orienter la recherche :

- Canada ET changement climatique
- réchauffement du globe
- réchauffement climatique
- changement climatique ET produits ET services
- Canada ET changement climatique ET (agriculture, énergie, pêche, forêts, loisirs, tourisme, transports, ressources en eau)

Figure 5.1 Exemple de recherche



Sources de la recherche documentaire :

Nous avons exploré les grandes avenues suivantes dans le cadre de la recherche documentaire, notamment :

- 1) Bases de données commerciales (pour une description détaillée de chacune, consulter l'annexe A-1) :
 - Compendex (documentation en ingénierie) 1987-janv. 1997;
 - EconLit (documentation en économie) 1969-sept. 1996;
 - Geography (documentation géographique) 1990-nov. 1996;
 - MicroLog (documents fédéraux, provinciaux et municipaux) 1982-déc. 1996.
- 2) Recherche sur Internet à l'aide de plusieurs outils de recherche (tableau 5.1)
- 3) Organismes gouvernementaux
- 4) Organismes non gouvernementaux

Tableau 5.1 Sites Internet utilisés

Sites Internet utilisés :
Alberta Department of Energy
British Columbia Ministry of Employment and Investment (MEMPR)
Agence canadienne d'évaluation environnementale (ACEE)
Canadian Institute for Climate Studies (CICS)
Environnement Canada
Les Ami(e)s de la Terre Canada
Greenpeace
Hydro Ontario
Institut international du développement durable (IIDD)
Ressources naturelles Canada (RNCan)
Pembina
Enquête Pollution
Table ronde de l'Ontario sur l'environnement et l'économie (TROEÉ)
OCDE
Saskatchewan Energy and Mines
Sierra Club
Statistique Canada
Programme des Nations Unies pour l'environnement
Fonds mondial pour la nature

SOMMAIRE DE LA DOCUMENTATION

Agriculture

- **Environnement Canada (1987), *Conséquences du changement climatique sur l'agriculture en Ontario, Sommaire du changement climatique, SCC 87-02.***

Une température plus élevée signifie des mauvaises récoltes dans le centre agricole de l'Ontario; des cultures comme celles du maïs et du soja peuvent devenir très incertaines dans le sud à cause de la sécheresse; le maïs, le soja et d'autres cultures peuvent devenir rentables dans le nord; les cultures horticoles peuvent être pratiquées dans la plus grande partie du territoire de la province; la répartition régionale de l'agriculture sur tout le territoire peut se transformer avec le changement du climat. S'il n'y a pas d'ajustement, « l'effet de serre » pourrait être onéreux pour l'agriculture en Ontario à cause des pertes de production.

- **Environnement Canada (1987), *Effets d'une hausse d'un mètre du niveau moyen de la mer à Saint-Jean (Nouveau-Brunswick) et au passage inférieur du Saint-Jean, Sommaire du changement climatique, SCC87-04.***

Les terres agricoles les plus riches de la région subissent actuellement des inondations et on ne peut que s'attendre à ce que les impacts augmentent la fréquence et la durée de celle-ci.

- **Environnement Canada (1988), *Répercussions du changement climatique sur l'agriculture dans les provinces des Prairies, Sommaire du changement climatique, SCC88-01.* [Voir aussi "Implications of Climate Change for Agriculture in the Prairie Provinces," University of Manitoba, Department of Agricultural Economics and Farm Management, Winnipeg (Manitoba) Phase III Report, mai 1987.]**

La réaction initiale à l'éventuel réchauffement du globe est d'envisager des changements importants des tendances agricoles et des pertes de récolte substantielles pour les régions des Prairies. Cependant, les résultats rapportés ici sont tout autres; des ajustements mineurs aux dates d'ensemencement et aux techniques de gestion peuvent suffire à atténuer, voire éviter complètement les pertes. Le document conclut que la plupart des impacts économiques sont mineurs.

- **Environnement Canada (1988), *Perspectives économiques liées aux répercussions de la variabilité et du changement climatique: Rapport sommaire, Sommaire du changement climatique, SCC 88-04.***

Le changement climatique pourrait exiger des ajustements considérables aux conditions agricoles régionales dans l'ensemble de l'Ontario et, par conséquent, avoir des répercussions agricoles et économiques aux niveaux de l'exploitation, de la région et de la province. Il faut évaluer ces impacts, et d'autres, et les relier à des façons de procéder plus générales (par exemple, la modélisation d'un scénario) pour déterminer les meilleures activités de recherche futures.

- **Environnement Canada (1988), *Évaluation des effets du changement climatique sur l'agriculture en Saskatchewan, Canada, Sommaire du changement climatique, SCC88-06.***

Au cours d'une année de sécheresse exceptionnelle, la Saskatchewan peut s'attendre à une réduction de ses ressources en eau telle que l'érosion éolienne pourrait doubler, la production de blé du printemps tomber au quart de la normale et les pertes encourues par l'économie agricole en dollars de 1980 dépasserait 1,8 milliard et 8 000 emplois, ce qui entraînerait une chute d'autres secteurs de l'économie de l'ordre de 1,6 milliard et de 17 000 emplois. Le passage à un climat chaud à long terme, avec augmentation des précipitations et sans adaptations importantes dans le secteur de l'agriculture, réduirait la production de blé de 16 %. Les impacts du réchauffement à long terme seraient plus prononcés dans le nord de la zone agricole, entraînant une homogénéisation de l'ensemble de l'agroclimat et de la production agricole.

- **Environnement Canada (1988), *Les répercussions d'un changement climatique sur les ressources naturelles du Québec, Sommaire du changement climatique, SCC88-08.***

Allongements substantiels de la saison de culture pour toutes les régions agricoles; augmentation marquée des degrés-jours de croissance dans toutes les régions (40 à 105 %); un potentiel considérable d'expansion de l'agriculture dans certaines régions; accroissement du potentiel de la culture du raisin et des pommes dans toutes les régions.

- **Environnement Canada (1989), *Le réchauffement climatique et la position relative du Canada en agriculture, Sommaire du changement climatique, SCC 89-01.***

Les perspectives de production du blé et du maïs-grain pourraient s'améliorer. Les conditions de production de l'orge et de l'avoine pourraient être moins favorables. La position du Canada en matière de production et de commerce de blé et de maïs-grain pourrait s'améliorer par rapport au reste du monde. Les possibilités d'exportation du blé canadien vers l'Europe, l'Afrique et l'Asie pourraient s'élargir. De nouveaux marchés pour le maïs-grain canadien pourraient s'ouvrir dans des régions comme l'Amérique du Nord et l'Amérique Centrale. Le Canada pourrait être en mesure de réduire ses importations actuelles de maïs-grain en provenance du Midwest. Il reste impossible de tirer des conclusions sûres quant aux changements de sa position concurrentielle en matière de production et de commerce d'autres cultures comme l'orge, l'avoine, le soja et le riz. Les impacts varieront probablement d'une région à l'autre du pays, ce qui aura des implications pour les politiques de développement régional.

- **Environnement Canada (1989), *Les effets du climat et du changement climatique sur l'économie de l'Alberta, Sommaire du changement, SCC 89-05.***

Les économies agricoles régionales seront fortement touchées par les régimes climatiques et météorologiques. L'ensemble de l'économie agricole de la province est moins tributaire du climat parce qu'il est probable que les impacts régionaux positifs compenseront les impacts négatifs.

- **Acres International Limited (1989) “The Environment/Economy Link in Alberta and the Implications under Climate Change Report,” P08725.00, Calgary (Alberta).**

Du fait que l’agriculture y est relativement diversifiée, les conditions climatiques régionales défavorables n’entraînent que rarement une chute soudaine du bien-être de l’ensemble de l’économie agricole de la province; autrement dit, l’élasticité est faible. En comparaison du secteur agricole de la Saskatchewan par exemple, l’Alberta est très résistante. Il s’agit ici bien sûr uniquement de phénomènes météorologiques exceptionnels et non pas de la possibilité d’un changement climatique défavorable à long terme. En outre, étant donné la lente baisse d’importance du secteur agricole dans l’économie de l’Alberta, généralement le rendement de l’ensemble de l’économie n’est pas grandement influencé par les fluctuations du secteur agricole dues au climat. (p. 19)

- **The U.S. National Climate Program Office et le Centre climatologique canadien (1989), *Impacts of Climate Change on the Great Lakes basin*, Symposium 1988, du 27 au 29 sept., à Oak Brook, IL.**

Il est probable que l’agriculture dans le Midwest nécessitera plus d’eau; les Grands Lacs pourraient servir de source pour l’irrigation. À cet égard, la répartition de l’eau est perçue comme l’un des principaux problèmes qui pourrait surgir. L’urbanisation autour des Grands Lacs, qui se poursuivra probablement, changement climatique ou pas, rendra la concurrence pour les terres plus féroce. L’utilisation urbaine du sol pourrait être en compétition avec l’utilisation agricole et l’agriculture avec la foresterie.

- **Environnement Canada (1991), *Le changement climatique et ses répercussions sur le Canada: le point de vue scientifique*, Sommaire du changement climatique, SCC 91-01.**

Les cultures pourraient s’étendre vers le nord, mais cette expansion est limitée en général par la capacité du sol; le nombre et la fréquence des infestations de ravageurs et des maladies des plantes pourraient augmenter; la gravité de la sécheresse agricole s’accroîtra probablement, ce qui se traduirait par une demande accrue en services d’irrigation et éventuellement par plus de conflits avec d’autres utilisateurs de l’eau (selon les impacts hydrologiques); les pertes économiques en période de sécheresse pourraient être plus importantes et même établir des précédents historiques.

- **Environnement Canada (1992), *Répercussions du réchauffement planétaire sur la politique du gouvernement canadien*, Sommaire du changement climatique, SCC 92-01.**

Il est prévu que les cultures agricoles dans les Prairies canadiennes deviendront plus vulnérables à la sécheresse, puisque la hausse substantielle de l’évapotranspiration potentielle annulera l’effet de la légère augmentation des précipitations. Les opinions sont partagées sur l’adaptabilité de l’industrie aux nouvelles conditions.

- **Environnement Canada (1994), Résumé du colloque : Une réaction régionale au changement climatique planétaire : La Nouvelle-Angleterre et l'est du Canada, Sommaire du changement climatique, SCC 94-03.**

Le changement des saisons de croissance et des régimes de précipitations aura un impact sur le choix et la productivité des cultures. La production agricole de la région : produits laitiers, fruits, pommes de terre et petites céréales, totalise 5,3 milliards de dollars (US).

- **Environnement Canada (1995), Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie : sommaire du rapport provisoire n° 2, Sommaire du changement climatique, SCC 95-01. [Voir aussi Brkhlacich, M. et P. Curran (1994), "Climate Change and Agricultural Potential in the Mackenzie Basin," dans Cohen, S.J. (dir.), Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie : sommaire du rapport provisoire n° 2, Environnement Canada, nov. 1994.]**

Avec le réchauffement du climat, les terres se prêteront mieux à l'agriculture commerciale dans des régions où les sols appropriés sont actuellement limités par la courte durée des saisons de croissance. Brkhlacich et Curran (Université Carleton) évaluent les possibilités d'étendre la production des céréales de printemps (blé, avoine, orge, etc.) et des fourrages (foin, etc.). Les signes préliminaires indiquent une augmentation des terres marginales et des terres productives.

Énergie

- **Great Lakes Institute, Implications of Climate Change for Navigation and Power Generation in the Great Lakes, University of Windsor, Windsor (Ontario) (Phase I Report, mars 1985; Phase II Report, mars 1986) Le texte est résumé dans un document d'Environnement Canada intitulé : « Répercussions d'un changement du climat sur la navigation et la production d'électricité dans les Grands Lacs », Sommaire du changement climatique, 1987, SCC 87-03.**

En Ontario, le chauffage des résidences diminuera de 30 à 45 %; la climatisation l'été pourrait augmenter de 7 %.

- **Environnement Canada (1987), Répercussions d'un changement du climat sur la navigation et la production d'électricité dans les Grands Lacs, Sommaire du changement climatique, SCC 87-03.**

Le changement climatique conjugué à l'augmentation de la consommation pourrait entraîner une perte de 4165 gigawatts-heures dans la production d'électricité des centrales électriques de l'Ontario dans la région des Grands Lacs. Il en coûtera chaque année à Ontario Hydro 65 millions de dollars (dollars US de 1979) pour remplacer la production perdue par un système mixte, nucléaire et combustibles fossiles, de production d'électricité. Ces coûts, convertis en dollars canadiens de 1984, totalisent 111 millions de dollars.

La hausse des températures fera diminuer la demande énergétique l'hiver et la fera augmenter légèrement l'été, ce qui permettra à Ontario Hydro de réaliser une économie annuelle moyenne de 172 à 204 millions de dollars canadiens de 1984. La réduction de la demande conjuguée à la réduction de la

production permettra de réaliser des économies annuelles de 61 à 92 millions de dollars (dollars canadiens de 1984).

- **Environnement Canada (1987), *Effets d'une hausse d'un mètre du niveau moyen de la mer à Saint-Jean (Nouveau-Brunswick) et au passage inférieur du Saint-Jean, Sommaire du changement climatique, SCC 87-04.***

La centrale électrique du Nouveau-Brunswick située dans East Saint John est vulnérable aux inondations en cas d'onde de tempête.

- **Environnement Canada (1988), *L'évaluation socio-économique des conséquences physiques et écologiques du changement climatique sur le milieu marin dans la Région de l'Atlantique : Phase I, Sommaire du changement climatique, SCC 88-07.***

Les coûts des interruptions du forage et de l'exploitation pétrolière et gazière en mer à cause de la glace de mer et des icebergs seraient pratiquement éliminés (40 millions de dollars en 1984-1985).

- **Environnement Canada (1988), *Les répercussions d'un changement climatique sur les ressources naturelles du Québec, Sommaire du changement climatique, SCC 88-08.***

Augmentation nette de 7 à 20 % de l'apport net de trois bassins hydrographiques dans la région de la baie James; potentiel d'augmentation de la capacité de production hydroélectrique d'environ $9,3 \times 10^{12}$ W/h dans l'ensemble de ces bassins; diminution importante des degrés-jours de chauffage, à Montréal (25 %) et à Québec (35 %), ce qui ferait chuter les besoins de chauffage l'hiver sur tout le territoire québécois.

- **Environnement Canada (1989), *Les effets du climat et du changement climatique sur l'économie de l'Alberta, Sommaire du changement climatique, SCC 89-05.***

L'utilisation totale d'électricité dans la province ne varie pas beaucoup en fonction du climat. Par contre, le climat influe beaucoup sur la consommation de gaz naturel, environ 80 %. Le scénario du Godard Institute for Space Studies des États-Unis (GISS) suggère une réduction de 20 % de la demande en gaz naturel accompagnée d'un fléchissement de la demande en hiver.

- **Acres International Limited (1989) "*The Environment/Economy Link in Alberta and the Implications under Climate Change Report,*" P08725.00, Calgary (Alberta).**

D'après les projections du changement des températures du GISS, la consommation d'électricité diminuerait légèrement l'hiver et augmenterait légèrement l'été. Le résultat net pourrait être une légère économie d'un demi pour cent par année (p. 47). Les besoins d'utilisation d'énergie électrique particuliers pourraient changer considérablement; par exemple, il pourrait y avoir une augmentation de 20 % des heures d'irrigation des terres agricoles (p. 48). Changements quant à l'utilisation saisonnière [de l'énergie] et probabilité d'économies nettes. L'utilisation totale [de l'énergie] pourrait encore

grimper à cause du changement de la distribution de la population et de l'augmentation de la demande industrielle (p. 63).

- **The U.S. National Climate Program Office et le Centre climatologique canadien (1989), *Impacts of Climate Change on the Great Lakes basin*, Symposium 1988, du 27 au 29 sept., à Oak Brook, IL.**

Les documents sur l'énergie décrivent tous les changements de la demande qui pourraient survenir en réponse à un réchauffement éventuel. Bien que l'on croie que le réchauffement du climat du bassin pourrait être avantageux pour la société, parce qu'il réduirait les besoins en électricité l'hiver, d'autres facteurs pourraient atténuer cet avantage. Par exemple, parmi les facteurs négatifs, on compte une demande de pointe plus élevée l'été à cause de la climatisation, une baisse des niveaux d'eau (diminuant la capacité hydroélectrique), et la possibilité que les réserves d'eau refroidissante deviennent insuffisantes, dans des conditions exceptionnelles, dans certains secteurs du bassin des Grands Lacs.

- **Environnement Canada (1991), *Le changement climatique et ses répercussions sur le Canada: le point de vue scientifique*, Sommaire du changement climatique, SCC 91-01.**

Il pourrait devenir plus difficile d'assurer l'entretien des pipelines et des autres installations des latitudes élevées à cause de la fonte du pergélisol; la demande saisonnière en chauffage et en climatisation changerait probablement, ce qui influencerait la distribution, les importations et les exportations de l'électricité; la production d'hydroélectricité pourrait être sensiblement réduite dans le système des Grands Lacs à cause de la baisse prévue des niveaux d'eau, mais il n'y a pas unanimité quant aux autres grands bassins versants.

- **Environnement Canada (1992), *Répercussions du réchauffement planétaire sur la politique du gouvernement canadien*, Sommaire du changement climatique, SCC 92-01.**

Les gouvernements fédéral et provinciaux et les compagnies d'électricité cherchent des moyens de limiter les émissions de gaz à effet de serre dans la production d'énergie. Cependant, la base de recherches actuelle, qui nous permettrait de comprendre les effets directs du réchauffement du globe sur la production d'énergie et sur la demande éventuelle en énergie, reste limitée.

- **Environnement Canada (1993), *Incidences du changement climatique sur le régime glacial de la mer de Beaufort: répercussions sur l'industrie pétrolière dans l'Arctique*, Sommaire du changement climatique, SCC 93-01.**

Ce rapport examine les impacts du réchauffement climatique sur les glaces et les vagues au large et la mesure dans laquelle ils influeront sur l'industrie de l'exploitation pétrolière et gazière en mer dans le secteur canadien de la mer de Beaufort. D'après le rapport, le réchauffement climatique prévu dans ce secteur serait favorable à l'industrie offshore, car il réduirait les exigences de conception et les coûts d'exploitation (à cause de l'amincissement de la glace et de l'allongement de la saison d'eau libre). Par contre, il nuirait à l'industrie à cause de l'augmentation de l'érosion

côtière par les vagues; c'est-à-dire que l'augmentation prévue de l'énergie des vagues ferait augmenter les exigences relatives aux structures côtières et en mer de longue durée.

- **Environnement Canada (1994), Résumé du colloque : *Une réaction régionale au changement climatique planétaire : la Nouvelle-Angleterre et l'est du Canada, Sommaire du changement climatique, SCC 94-03.***

Le quart de l'électricité de l'est du Canada et 5 % de celle de la Nouvelle-Angleterre proviennent de centrales hydroélectriques vulnérables au climat. Si le climat se réchauffe, la consommation estivale pourrait augmenter, mais la nécessité de chauffer l'hiver diminuerait.

- **Brklacich, M. et P. Curran (1994), "Climate Change and Agricultural Potential in the Mackenzie Basin," dans Cohen, S.J. (dir.), *Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie : Sommaire du rapport provisoire n°2, Environnement Canada, nov. 1994.* [Voir aussi Environnement Canada (1995), *Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie : Sommaire du rapport provisoire n° 2, Sommaire du changement climatique, SCC 95-01.*]**

Une réduction de l'épaisseur maximale de glace pourrait faire baisser de beaucoup le coût d'élaboration et de production des plates-formes et simplifier la conception des conduits secondaires sous-marins ainsi que les besoins en renforcement des navires-citernes brise-glace. Le recul de la banquise vers le nord faciliterait l'exploration dans les eaux situées au-dessus du 70° N. En outre, l'allongement de la saison d'eau libre pourrait faire augmenter la quantité de pétrole transportée par des navires non renforcés; l'augmentation de la hauteur des vagues pourrait par contre causer une érosion côtière importante, dont les incidences seraient onéreuses en ce qui a trait aux exigences et à l'emplacement des terminaux de pipeline et autres installations. De plus, un été plus long se traduirait par un plus grand nombre de jours libres de glace sur le Mackenzie, artère de transport vitale reliant la région de Great Slave au delta. Cependant, pour la plupart des activités à terre, la saison la plus active est l'hiver. Le transport terrestre, par exemple, est en général moins cher et plus facile l'hiver à cause de la présence de routes de glace pour les camions et la possibilité d'utiliser des motoneiges.

Pêche

- **Environnement Canada (1988), *L'évaluation socio-économique des conséquences physiques et écologiques du changement climatique sur le milieu marin dans la région de l'Atlantique : Phase I, Sommaire du changement climatique, SCC 88-07.***

Bien que les effets du changement climatique sur les pêches traditionnelles soient encore indéterminés, une température plus élevée favoriserait la croissance constante de l'industrie de l'aquaculture et son expansion dans de nouvelles régions. Le raccourcissement de l'hiver et de la saison des glaces de mer permettrait de prolonger les saisons de pêche côtière et, par conséquent, l'emploi annuel de l'équipement de pêche et de la main-d'oeuvre.

- **The U.S. National Climate Program Office et le Centre climatologique canadien (1989), *Impacts of Climate Change on the Great Lakes basin, Symposium 1988, du 27 au 29 sept. 1988, à Oak Brook, IL.***

Le changement climatique élargira l'aire de répartition de diverses espèces de poisson. Nous pouvons nous attendre à une invasion des espèces exotiques d'eaux plus chaudes, et la plus grande productivité laisse entrevoir de plus grandes possibilités de pêche.

- **Environnement Canada (1990), *Les répercussions du changement de climat sur les petites localités côtières de la région de l'Atlantique, au Canada, Sommaire du changement climatique, SCC 90-01.***

On verra un changement de l'époque où surviennent les étapes du cycle biologique et les migrations des espèces de poisson; les secteurs de concentration maximale de nombreuses espèces importantes sur le plan commercial se déplaceront probablement vers le nord. Les pêcheurs devront s'adapter aux nouvelles conditions, car les lieux et saisons de pêche seront différents, de même que l'équipement à utiliser et les espèces à récolter. Certains pêcheurs et collectivités en profiteront, tandis que d'autres y perdront.

- **Environnement Canada (1991), *Le changement climatique et ses répercussions sur le Canada : le point de vue scientifique, Sommaire du changement climatique, SCC 91-01.***

a) *Pêche en eau douce* : Plus de 30 nouvelles espèces du sud pourraient envahir les Grands Lacs et les espèces résidentes pourraient disparaître; la fonte du pergélisol pourrait bouleverser l'habitat du poisson dans le nord du Canada; dans les régions côtières, les espèces pourraient fréquenter des zones différentes; le réchauffement pourrait favoriser la croissance constante de l'industrie de l'aquaculture; le réchauffement des eaux pourrait faire augmenter la production de phytoplancton et la superficie d'eaux habitables l'hiver; il pourrait survenir une diminution de la productivité l'été si l'eau est trop chaude et l'oxygène pourrait se raréfier; les changements qui surviendront dans les milieux humides côtiers à cause des fluctuations du niveau de l'eau (par exemple, la baisse prévue des niveaux dans les Grands Lacs) pourraient nuire aux populations de poissons.

b) *Pêche en eau salée* : Des changements surviendraient relativement à la répartition, à l'abondance et à la diversité des espèces et des voies de migration des poissons; par exemple, la limite sud naturelle des salmonidés est déterminée par des facteurs climatiques, de même que l'abondance relative des différentes espèces pêchées sur la côte est. Un réchauffement des eaux côtières pourrait modifier les limites géographiques de l'aire de répartition d'espèces comme le calmar et le maquereau sur la côte atlantique, et la merluche et le thon sur la côte du Pacifique, ce qui accroîtrait probablement l'abondance et permettrait des pêches accrues ou nouvelles. La production de certaines populations de salmonidés du nord pourrait s'accroître grâce aux conditions plus favorables. Toutefois, il nous est difficile de prédire les répercussions sur les espèces marines parce que la base de connaissances est insuffisante; il faut poursuivre les recherches.

- **Environnement Canada (1992), *Étude des modèles de prévision des variations climatiques et de leurs incidences sur l'hydrologie, les courants côtiers et les pêches en Colombie-Britannique, Sommaire du changement climatique, SCC 92-02.***

Les changements climatiques prévus pourraient réduire les stocks de saumon à cause de la diminution de la salinité des eaux côtières et de l'élévation des températures. Le saumon étant une pêche commerciale très importante, la réduction des stocks pourrait avoir des répercussions économiques importantes. Il est essentiel d'entreprendre des recherches pour préciser ces relations (p. 1). Lorsqu'on examine l'influence du changement climatique sur la pêche en eau salée, il semble que toutes les pêches ne sont pas touchées de la même façon (p. 11).

- **Environnement Canada (1994), *Incidences potentielles du réchauffement climatique sur la production de saumon dans le bassin hydrographique du fleuve Fraser, Sommaire du changement climatique, SCC94-04.***

Le Fraser produit plus de saumon du Pacifique que tout autre réseau fluvial au monde. La population de saumons pourrait augmenter dans le nord et à plus haute altitude, mais diminuer dans le sud et à basse altitude, à cause des températures plus élevées.

Foresterie

- **Environnement Canada (1988), *Les répercussions d'un changement climatique sur les ressources naturelles du Québec, Sommaire du changement climatique, SCC 88-08.***

Déplacement des principaux écosystèmes forestiers vers le nord de plusieurs centaines de kilomètres; diminution draconienne, entre 62 et 100 %, de la superficie des zones boisées de la toundra; diminution possible de la superficie des forêts boréales de l'ordre de 20 %, mais compensée toutefois par un meilleur taux de croissance forestière; augmentation d'environ 200 % de la superficie des forêts de feuillus.

- **Environnement Canada (1989), *L'exploration des incidences du changement climatique sur la forêt boréale et l'économie forestière de l'ouest du Canada, Sommaire du changement climatique, SCC 89-02.***

Résume les résultats de la première étape d'une étude exploratoire visant à évaluer les impacts du changement climatique causé par le CO₂ sur la forêt boréale des provinces des Prairies et des Territoires du Nord-Ouest. La région d'étude représente 82 % des terres forestières du Canada.

Un modèle de répartition en zones climatiques pour la forêt boréale a été conçu et évalué. Les résultats des impacts d'un des scénarios de changement climatique ont été calculés et étudiés. Selon les résultats préliminaires, la zone écoclimatique de tremblais avancerait vers le nord dans l'ouest de la région d'étude et la zone écoclimatique tempérée boréale s'étendrait vers l'ouest dans l'est de la région d'étude, en raison du réchauffement climatique.

- **Acres International Limited (1989)** “*The Environnement/Economy Link in Alberta and the Implications under Climate Change Report,*” P08725.00, Calgary, Alberta.

Le changement climatique actuellement prévu pourrait avoir des avantages nets pour le secteur forestier de l’Ouest canadien, puisque la croissance accélérée de la biomasse pourrait accroître l’approvisionnement de 60 %, tandis que la superficie forestière augmenterait de 37 %. Ainsi, puisque l’augmentation implicite de la superficie d’exploitation et la croissance du secteur forestier devraient se situer généralement plus au nord, tandis que les prix des produits seront probablement à la baisse, il semble probable que le secteur forestier qui reste à l’intérieur des limites provinciales connaîtra une perte nette. Il pourrait d’ailleurs diminuer considérablement (p. 42).

- **Environnement Canada (1991)**, *Le changement climatique et ses répercussions sur le Canada: le point de vue scientifique, Sommaire du changement climatique, SCC 91-01.*

Il y a une possibilité de déplacement vers le nord des écosystèmes forestiers avec, dans certains cas, un resserrement des territoires de certaines espèces; accroissement probable des dommages aux forêts causés par les ravageurs et les incendies; incidences négatives probables sur les activités de coupe en hiver à cause de la hausse des températures et de l’augmentation des précipitations en hiver dans les régions septentrionales.

- **Environnement Canada (1992)**, *Répercussions du réchauffement planétaire sur la politique du gouvernement canadien, Sommaire du changement climatique, SCC 92-01.*

Une récente étude d’Environnement Canada porte à croire que les conditions écoclimatiques favorisant la forêt boréale pourraient presque disparaître à l’ouest du Québec d’ici 2050. Les incendies seraient le principal facteur de changement, devenant incontrôlables dans une grande partie de la zone de forêt boréale actuelle. On a constaté une augmentation marquée des zones incendiées au cours des années 1980.

- **Cornelis van Kooten, G., (1995)** “*Climate Change and Canada’s Boreal Forest: Socio-economic Issues and Implications for Land Use,*” *Revue canadienne d’économie rurale* 43, 133-148.

Examen des effets du changement climatique et des politiques visant la séquestration du carbone sur l’utilisation des terres forestières. Les stratégies efficaces d’atténuation exigent souvent la conversion de terres agricoles en forêts pour séquestrer le carbone, mais elles pourraient se révéler inappropriées pour la région forestière boréale du Canada si le réchauffement climatique est inévitable. On avance que, du point de vue économique et du point de vue social, la conversion des forêts boréales du sud en pâturages ou en terres agricoles pourrait être une meilleure solution.

- **Armstrong, G. W.(1994)**, “*Timber Supply Impacts of Climate Change in the Mackenzie Basin,*” dans Cohen, S. J. (dir.), *Étude d’impact sur le bassin du Mackenzie : Rapport provisoire n° 2*, Environnement Canada, nov. 1994. [Voir aussi Environnement Canada (1995), *Étude d’impact sur le bassin du Mackenzie : sommaire du rapport provisoire n° 2*, Sommaire du changement climatique, SCC 95-01.]

Le bassin du Mackenzie est une importante région de production de bois d'oeuvre au Canada. Environ 90 % de la possibilité annuelle de coupe (PAC) de l'Alberta provient de cette région. Armstrong (University of Alberta) fournit des informations sur une méthode d'évaluation des répercussions éventuelles sur l'approvisionnement en bois, à partir des résultats tirés des études de foresterie.

Loisirs/Tourisme

- **Lamothe et Périard Ltée (1987), *Implications of Climate Change for Downhill Skiing in Quebec*, Montréal, Québec, mai 1987. Un résumé a été publié dans «*Les répercussions d'un changement climatique sur l'industrie du ski alpin au Québec*», *Sommaire du changement climatique*, Environnement Canada, 1988, SCC 88-03.**

Réduction possible de l'ordre de 67 à 87 % du nombre de jours de ski pour les centres qui ne disposent pas d'équipement pour fabriquer de la neige et réduction possible de 40 à 50 % pour celles qui peuvent en fabriquer; les répercussions économiques sur les stations de ski ne seront probablement pas proportionnelles à la réduction du nombre de jours de ski, puisque la fréquentation pourrait augmenter pendant cette saison écourtée.

- **Environnement Canada (1988), *Les répercussions du changement climatique sur le tourisme et les loisirs en Ontario*, *Sommaire du changement climatique*, SCC 88-05.**[Voir aussi "Impact of Climate Change on Ontario Tourism and Recreation," University of Waterloo, Department of Geography, Waterloo, Ontario, 1985.]

La longueur des saisons de ski sera réduite à la tête des Grands Lacs, mais les grandes périodes de congé, qui contribuent pour la plus grande partie aux activités, tomberont tout de même encore pendant la saison de ski assurée; dans la région du sud de la baie Georgienne, la saison de ski alpin pourrait disparaître, avec une perte connexe de 36,55 millions de dollars par année, correspondant à l'argent dépensé par les skieurs dans les stations de ski, et de 12,8 millions de dollars (valeur de 1985) en activités commerciales à Collingwood; les activités estivales de loisirs et de sport bénéficieraient d'un allongement de la saison et la viabilité des entreprises de loisirs et de sport d'été pourrait bien augmenter, avec les retombées positives qui s'ensuivent pour les économies avoisinantes.

- **Environnement Canada (1988), *L'évaluation socio-économique des conséquences physiques et écologiques du changement climatique sur le milieu marin dans la région de l'Atlantique : Phase I*, *Sommaire du changement climatique*, SCC 88-07.**

L'adoucissement du climat entraînerait une prolongation des activités touristiques ainsi que de loisirs et de sport d'été, de même qu'une réduction correspondante des activités de loisirs et de sport d'hiver. Il pourrait en résulter une augmentation des dépenses de déplacement des non-résidents dans la région et une diminution des dépenses de déplacement des résidents vers l'extérieur de la région; ces deux effets seraient avantageux pour la balance des paiements au chapitre des déplacements pour la région.

- **Environnement Canada (1989), *Les répercussions du changement climatique sur le parc national de Prince-Albert, en Saskatchewan*, *Sommaire du changement climatique*, SCC 89-03.**

L'augmentation des pressions exercées sur le plan de l'utilisation du sol par la fréquence accrue des sécheresses pourrait inciter à convertir des terres actuellement marginales en terres agricoles. Ces pressions pourront se traduire par un accroissement des conflits entre les parcs et l'utilisation des sols à d'autres fins. Le changement climatique a aussi des impacts sur la superficie consacrée aux parcs, la taille de chaque parc, le choix et la désignation des parcs, ainsi que leur délimitation.

- **Environnement Canada (1989), *Les répercussions d'un changement climatique sur les besoins en eau des municipalités et sur l'industrie du golf au Québec, Sommaire du changement climatique, SCC 89-04.***

Les conditions climatiques influent sur le début et la fin de la saison de golf; la durée réelle moyenne de la saison est de 171, 187 et 206 jours pour Québec, Sherbrooke et Montréal respectivement.

Avec le changement climatique, le nombre de jours favorables au golf pourrait augmenter de 20 à 50 %, ce qui aurait des répercussions importantes sur l'industrie du golf, dont les revenus bruts actuels sont de 245 millions de dollars (valeur de 1987).

- **Environnement Canada (1989), *Les effets du climat et du changement climatique sur l'économie de l'Alberta, Sommaire du changement climatique, SCC 89-05.* [Voir aussi Acres International Limited (1989) "*The Environnement/Economy Link in Alberta and the Implications under Climate Change Report,*" P08725.00, Calgary, Alberta.]**

Les résultats généraux suggèrent que le changement climatique pourrait accroître l'étendue saisonnière et géographique de nombreuses activités, tandis que ses effets sur les activités hivernales demeurent incertaines.

- **The U.S. National Climate Program Office and the Canadian Climate Centre (1989), *Impacts of Climate Change on the Great Lakes basin, Symposium de 1988, du 27 au 29 sept., à Oak Brook, IL.***

Dans le bassin des Grands Lacs, il y aura des répercussions positives et négatives sur les loisirs. Par conséquent, nous devrions repérer les perspectives positives, ainsi que notre vulnérabilité au changement.

- **Environnement Canada (1990), *Les répercussions du changement du climat sur les petites localités côtières de la région de l'Atlantique, au Canada, Sommaire du changement climatique, SCC 90-01.***

Certaines collectivités pourraient bien bénéficier de perspectives accrues en aquaculture, et d'autres d'un allongement de la saison touristique estivale.

- **Environnement Canada (1991), *Le changement climatique et ses répercussions sur le Canada : le point de vue scientifique, Sommaire du changement climatique, SCC 91-01.***

Les effets sont généralement positifs en ce qui concerne les activités estivales, mais négatifs pour les activités hivernales dans les régions du sud (p. ex. ski dans le sud de l'Ontario); il n'existe pas de consensus quant aux répercussions dans les Rocheuses à cause des incertitudes relatives aux précipitations.

- **Environnement Canada (1994), Résumé du colloque : Une réaction régionale au changement climatique planétaire : la Nouvelle-Angleterre et l'est du Canada, Sommaire du changement climatique, SCC 94-03.**

Le changement climatique peut avoir des effets sur le comportement des touristes et sur les coûts de l'industrie en été et en hiver. En Nouvelle-Angleterre, les répercussions directes totales des dépenses des touristes dépassent les 18 milliards de dollars (US) par année, tandis que dans l'est du Canada, elles sont d'environ 6,5 milliards de dollars (CAN).

- **Environnement Canada (1995), Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie : sommaire du rapport provisoire n° 2, Sommaire du changement climatique, SCC 95-01. [Voir aussi Staple, T. et G. Wall (1994), "Implications of Climate Change for Water-Based Recreation Activities in Nahanni National Park Reserve," dans Cohen, S.J. (dir.), Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie : rapport provisoire n° 2, Environnement Canada, nov. 1994.**

Staple et Wall (University of Waterloo) présentent une étude de cas de la réserve de parc national Nahanni et concluent qu'un scénario de réchauffement du climat aurait des répercussions diverses sur le tourisme. Les changements hydrologiques ne seraient pas suffisants pour avoir des effets sur les descentes en eaux vives. La saison de fréquentation se prolongerait de quatre semaines à l'automne, avec les répercussions économiques traditionnelles que cela comporte pour la région de Nahanni. Cependant, l'augmentation prévue de la fréquence des incendies pourrait nuire à la sécurité des visiteurs, et les modifications subséquentes du paysage auraient des conséquences sur le régime hydrologique.

Transports

- **Great Lakes Institute *Implications of Climate Change for Navigation and Power Generation in the Great Lakes*, University of Windsor, Windsor, Ontario (Rapport de la Phase I, mars 1985; rapport de la Phase II, mars 1986). Un résumé figure dans *Répercussions d'un changement de climat sur la navigation et la production d'électricité dans les Grands Lacs*, Environnement Canada, 1987, SCC 87-03.**

Le changement climatique rendra probablement les Grands Lacs navigables toute l'année, ce qui s'accompagnerait d'une augmentation de 15 à 30 % du volume d'activité. Cependant, une diminution de 20 % de l'apport d'eau vers les Grands Lacs pourrait entraîner une perte de 6 % de la capacité de transport maritime.

- **Environnement Canada (1987), *Répercussions d'un changement de climat sur la navigation et la production d'électricité dans les Grands Lacs*, Sommaire du changement climatique, SCC 87-03.**

La couverture glacielle maximale sur les lacs pourrait passer de 72 à 0 % pour le lac Supérieur, de 38 à 0 % pour le lac Michigan, de 65 à 0 % pour le lac Huron, de 90 à 50 % pour le lac Érié et de 33 à 0 % pour le lac Ontario, permettant une saison de navigation sans glace d'une durée de 11 mois. Les coûts annuels moyens des sociétés de transport maritime des Grands Lacs pour les quatre principales marchandises (minerai de fer, céréales, charbon et chaux) pourraient augmenter d'environ 30 %. La fréquence des années au cours desquelles les coûts d'expédition égalent ou dépassent ceux de la période de bas niveau des lacs (1963-1965) pourrait passer à neuf ans sur dix.

- **Environnement Canada (1987), *Effets d'une hausse d'un mètre du niveau moyen de la mer à Saint-Jean (Nouveau-Brunswick) et au passage inférieur du Saint-Jean, Sommaire du changement climatique, SCC 87-04.***

Les réseaux de transport par route et par rail de Saint-Jean pourraient être fortement perturbés par la hausse du niveau d'eau dans les zones côtières. Cette hausse pourrait aussi entraîner des perturbations importantes et peut-être même l'isolement de localités situées à l'est de la ville. L'augmentation des inondations dans la section Jemseg-Maugerville de la route transcanadienne pourrait perturber gravement le transport routier entre le Centre du Canada et l'Atlantique.

- **Environnement Canada (1988), *Étude préliminaire des effets éventuels d'une hausse d'un mètre du niveau de la mer à Charlottetown (Île-du-Prince-Édouard), Sommaire du changement climatique, SCC 88-02.***

Cet ouvrage porte sur les perturbations en bord de mer, le déplacement des industries, des habitations et des points d'intérêt, ainsi que les effets négatifs sur les biens publics, les égouts et les *transports* dans la ville de Charlottetown et à l'extérieur.

- **Environnement Canada (1988), *L'évaluation socio-économique des conséquences physiques et écologiques du changement climatique sur le milieu marin dans la région de l'Atlantique : Phase 1, Sommaire du changement climatique, SCC 88-07.***

Le changement climatique pourrait empêcher la formation de la glace de mer et, de ce fait, réduire les coûts des services de traversier et du transport maritime dans la région de l'Atlantique tout en permettant de prolonger la saison sur certaines routes. Cependant, on pourrait s'attendre à une perte du trafic maritime en hiver au profit de Churchill, de Montréal et des ports de la voie maritime du Saint-Laurent, puisque ces ports deviendraient libres de glace et accessibles presque toute l'année. Une hausse du niveau de la mer d'un mètre pourrait entraîner des dommages aux infrastructures côtières et des pertes, qui, selon le pire des scénarios, totaliseraient plusieurs milliards de dollars.

- **Lonergan, S. (1989), "An overview of potential effects of rapid warming on the Canadian Arctic," dans Topping Jr., J.C. (dir.), *Coping with Climate Change*. Climate Institute, Washington, D.C. p. 464-468.**

Bien que le titre de ce document semble indiquer qu'il porte sur l'Arctique canadien dans son ensemble, l'auteur met l'accent sur la vallée et le delta du Mackenzie, régions où est concentrée la plus grande partie de la population et de l'activité économique de l'Arctique. Les résultats

obtenus par Lonergan montrent un allongement de la saison du transport maritime (d'environ six à huit semaines) et une réduction correspondante de l'écoulement des floes de glace; cependant, en même temps, l'auteur signale que la mer plus agitée pourrait provoquer le vêlage d'icebergs, avec un impact négatif sur le transport maritime. Il prévoit aussi un allongement de la saison du transport par barge sur le Mackenzie. Les routes d'hiver, par ailleurs, seraient perturbées par le réchauffement, à cause de l'intensification des précipitations de neige et du raccourcissement de la saison. Enfin, le transport aérien pourrait être retardé par les tempêtes.

- **Lonergan, S. et M.K. Woo (1989), “*The impacts of climate warming on transportation in the Canadian Arctic,*” Présenté au : *Climate Institute Symposium on Arctic and Global Change, Ottawa, Ont., 26 oct. 1989, p. 81-95.***

Lonergan et Woo examinent les impacts physiques et socio-économiques du réchauffement climatique sur les transports dans l'Arctique canadien. Selon eux, la saison libre de glace du Mackenzie pourrait s'allonger de 40 %, favorisant une prolongation de la saison de transport par barge. Ils prévoient aussi le raccourcissement de la saison des routes d'hiver (à cause de la fonte de la glace de rivière). De plus, ils s'attendent à une légère réorientation des activités vers le mode aérien. Cependant, peu d'avantages sont prévus pour l'économie locale, malgré l'allongement possible de la saison de transport, à cause de la concurrence monopolistique et du surplus de capacité dans l'industrie des transports.

- **Smith, J.P. (1989), “*An overview of EPA studies of the potential impacts of climate change on the Great Lakes Region,*” dans Topping Jr., J.C. (dir.), *Coping with Climate Change. Climate Institute, Washington, D.C., p. 532-541.***

Posant comme hypothèse un dédoublement des concentrations actuelles de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, l'auteur prévoit les répercussions sur les transports dans les Grands Lacs. La réduction prévue de la couverture de glace pourrait permettre l'allongement de la saison de transport maritime. Cependant, l'industrie des transports subirait des conséquences négatives parallèles, puisque la baisse des niveaux d'eau prévue dans les Grands Lacs forcerait les navires marchands à réduire leur cargaison. Les coûts d'entretien pourraient augmenter en même temps que le réchauffement climatique, puisqu'il faudra accroître le dragage afin de maintenir les chenaux ouverts.

- **Stokoe, P. K. (1989), “*Strategies to respond to climate change and sea-level rise in Atlantic Canada,*” dans Topping Jr., J.C. (dir.), *Coping with Climate Change. Climate Institute, Washington, D.C., p. 521-525.***

Stokoe prédit l'inondation des zones côtières à la suite de la hausse du niveau de la mer et recommande de modifier les normes techniques (pour les infrastructures) en fonction de cette tendance à la hausse. Il prévoit aussi la mise en place de nouvelles infrastructures dans des zones qui deviennent plus attrayantes à cause du réchauffement climatique.

- **The U.S. National Climate Program Office et le Centre climatologique canadien (1989), *Impacts of Climate Change on the Great Lakes Basin*, Symposium de 1988, du 27 au 29 sept. 1988, à Oak Brook, IL.**

Plusieurs communications de la conférence portaient sur les impacts du changement climatique sur le secteur des transports. Les conséquences possibles du réchauffement incluent : la réduction des cargaisons, la hausse des frais d'exploitation, la diminution de l'accès aux ports et l'augmentation du dragage de façon régulière.

- **Environnement Canada (1990), *Les répercussions du changement climatique à long terme sur le transport au Canada*, Sommaire du changement climatique, SCC 90-02.**

Cette étude représente l'effort le plus exhaustif d'examen des effets du changement climatique sur le secteur canadien des transports dans son ensemble. Cependant, il s'agit en grande partie de la compilation d'études antérieures, plutôt que d'un effort de recherche primaire. La portée en est très vaste et les évaluations sont préliminaires.

On peut s'attendre à une importante expansion vers le nord des établissements et des activités connexes au Canada. Cela aurait des effets sur les quatre modes de transport - maritime, routier, ferroviaire et aérien - et entraînerait une substantielle extension vers le nord des installations et des services. Cette migration pourrait, par ailleurs, avoir d'importants effets socio-économiques sur le nord du pays.

Il faut prévoir des coûts d'immobilisation minimales à modérés pour le maintien ou la remise en état des installations de transport touchées par les inondations et les effets du climat. Une exception possible : les travaux publics importants pour régulariser le niveau d'eau dans le réseau des Grands Lacs. Il faudrait d'importants coûts d'immobilisation pour étendre les services et les réseaux de transport dans les régions septentrionales, particulièrement les routes et les voies ferrées. D'importants coûts d'immobilisation seraient également nécessaires pour l'expansion du transport océanique (si le Canada décidait d'élargir sa propre flotte marchande), tout particulièrement pour le commerce côtier, ainsi que pour les activités de garde des côtes et de défense.

L'intensification des activités de garde des côtes, de recherche et de sauvetage, et de défense pourrait aussi contribuer à l'augmentation des frais d'exploitation. Celle-ci, cependant, serait en partie compensée par une diminution notable des frais d'exploitation unitaires, à cause de l'allongement de la saison de navigation en eau libre dans le nord.

D'après l'évaluation préliminaire présentée dans cette étude, les effets à long terme du climat sur le secteur des transports canadiens seront positifs, dans l'ensemble. Bien que certaines répercussions risquent d'entraîner une augmentation des coûts, les plus importantes sont considérées comme ayant un avantage net, l'accroissement des revenus compensant largement l'augmentation des coûts.

- **Environnement Canada (1991), *Le changement climatique et ses répercussions sur le Canada: le point de vue scientifique*, Sommaire du changement climatique, SCC 91-01.**

On pourrait assister à un allongement de la saison du transport maritime en eaux libres de glace, dans l'Arctique canadien et dans les Grands Lacs, qui aurait des avantages sur le plan économique. Cependant, on pourrait assister à une hausse des frais d'exploitation dans les Grands Lacs à cause de la baisse des niveaux d'eau. On peut aussi s'attendre au raccourcissement de la saison de la glace d'hiver et des routes de neige aux latitudes supérieures.

- **Environnement Canada (1992), *Répercussions du réchauffement planétaire sur la politique du gouvernement canadien, Sommaire du changement climatique, SCC 92-01.***

Jusqu'ici, les études des impacts du réchauffement de la planète sur les transports au Canada sont limitées et en grande partie superficielles, peut-être parce qu'on a l'impression que les répercussions du réchauffement seraient principalement positives. On recommande de faire d'autres recherches sur les coûts et avantages du changement climatique dans les principales zones urbaines et ses effets sur le transport maritime dans l'Arctique.

- **Cohen, S.J. (dir.) (1993), *Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie : Rapport provisoire n° 1, Environnement Canada.***

Rapport provisoire d'une étude de six ans, visant à évaluer les répercussions possibles du réchauffement de la planète sur la région du bassin du Mackenzie et ses habitants. Le cadre d'étude, la structure, l'organisation, les méthodes, les données et les participants y sont présentés. Le secteur des transports occupe une place prépondérante dans ce rapport.

- **Lonergan, S., R. DiFrancesco et M.K. Woo (1993), "Climate change and transportation in Northern Canada: an integrated impact assessment," In: *Climatic Change*. Vol. 24, 1993, 331-351.**

Résultats d'une étude de deux ans dont l'objet était d'évaluer les impacts du changement climatique sur le réseau des transports (par barge, par camion, par voie aérienne) dans la vallée du Mackenzie, T. N.-O. Les impacts physiques et économiques du réchauffement de la planète y sont évalués au moyen d'une combinaison de techniques de modélisation. Ces estimations sont ensuite reliées aux changements éventuels des infrastructures des transports. Bien qu'on s'attende à un réchauffement important de la région, les impacts économiques des changements survenus sur le plan des transports devraient être mineurs, les plus grandes se faisant sentir dans le secteur des services.

- **University of British Columbia Disaster Preparedness Resources Centre and British Columbia Provincial Emergency Program (1993), *British Columbia Hazard, Risk and Vulnerability Analysis*. Vancouver, B.C.**

Évaluation du risque de divers phénomènes observés en Colombie-Britannique, y compris le réchauffement de la planète. Notamment, le rapport prédit que le réchauffement entraînera une hausse d'un mètre du niveau de la mer qui, à son tour, aura des effets sur le littoral de la province. Par exemple, le rapport prédit qu'une jetée basse à Victoria, ainsi que les plages de Dallas Road, pourraient être inondées. De plus, l'autoroute de l'île, le long de Qualicum Beach, devrait être

déplacée. Duncan, située à basse altitude, serait aussi particulièrement vulnérable aux inondations. Bien qu'une grande partie du centre-ville de Vancouver soit suffisamment élevée pour éviter les inondations, la région du delta du Fraser serait menacée. Autres incidences négatives : des problèmes éventuels pour les constructeurs de ponts, et les activités portuaires et maritimes.

- **DiFrancesco, R.J. et S.C. Lonergan (1994), "Examining regional sensitivity to climate change using aggregate input-output data: the case of transportation in the Northwest Territories," *Revue canadienne des sciences régionales*, 17(2), 1994, p. 233-257.**

Macro-étude de l'économie des Territoires du Nord-Ouest. Une évaluation de deux scénarios amène les auteurs à conclure que le réchauffement climatique aurait des impacts directs sur les réseaux de transport terrestres et maritimes. Puisque les barges sont le principal moyen de transport des marchandises (et le moins cher à la tonne) dans la région, suivies du camionnage, les auteurs assument que les effets nets d'une importante période libre de glace (due au réchauffement climatique) seraient positifs, puisque les marchandises qui ne pourraient plus être expédiées par camion le seraient par barge (donc pour moins cher la tonne).

- **Collectif sur les transports et les changements climatiques et Table ronde de l'Ontario sur l'environnement et l'économie (1995), *Une stratégie pour le développement durable des transports en Ontario*.**

Stratégie pour des transports durables en Ontario. Le rapport commence par un examen des répercussions du changement climatique en Ontario. Les effets prévus dans le secteur des transports sont : une diminution (de près de 50 %) de l'approvisionnement net d'eau de surface dans le bassin des Grands Lacs; une baisse de 0,5 à 2,5 mètres de leurs niveaux moyens; et le dragage plus fréquent des voies navigables. Les mesures d'atténuation proposées visent à stabiliser les émissions de gaz à effet de serre par une réduction de la demande d'énergie et des émissions de CO₂ du secteur des transports, tout en maintenant les services essentiels et la compétitivité économique du secteur des transports.

Recherche bibliographique du côté des organisations non gouvernementales

Une recherche bibliographique des travaux d'organisations non gouvernementales (annexe, tableau A-3) a donné peu de résultats pour ce qui est de la recherche interne, à l'exception d'une étude (en cours) réalisée par l'Institut international du développement durable IIDDD). Bien qu'on sache que les travaux de l'Institut touchent de façon générale les transports et le changement climatique, nous n'avons pu savoir si une place particulière était accordée au secteur des transports au *Canada*.

Ressources en eau

- **The U.S. National Climate Program Office et le Centre climatologique canadien (1989), *Impacts of Climate Change on the Great Lakes basin*, Symposium de 1988, du 27 au 29 sept. 1988, à Oak Brook, IL.**

L'approvisionnement en eau dans le bassin des Grands Lacs baissera probablement à cause de l'accroissement de l'évaporation et de la diminution des précipitations. Il est probable que la consommation d'eau augmente.

- **Environnement Canada (1989), *Les répercussions d'un changement climatique sur les besoins en eau des municipalités et sur l'industrie du golf au Québec, Sommaire du changement climatique, SCC 89-04.***

Depuis le début des années 1970, l'utilisation des approvisionnements municipaux en eau pour l'arrosage résidentiel des pelouses est devenue une préoccupation importante qui s'est traduite par des restrictions périodiques. Une heure d'arrosage de pelouse consomme la même quantité d'eau qu'une famille de cinq personnes au cours d'une journée. Le réchauffement du climat devrait accroître de 20 à 30 % la demande d'eau pour l'entretien des pelouses et, pour satisfaire la demande, il faudrait des infrastructures nouvelles et coûteuses.

- **Environnement Canada (1990), *Les répercussions du changement de climat sur les petites localités côtières de la région de l'Atlantique, au Canada, Sommaire du changement climatique, SCC 90-01.***

Les scénarios des modèles du climat portent à croire qu'il y aurait moins de précipitations et plus d'évaporation, ce qui entraînerait une réduction locale des approvisionnements d'eau douce.

- **Environnement Canada (1988), *Les perspectives économiques liées aux répercussions de la variabilité et du changement climatique : Rapport sommaire, Sommaire du changement climatique, SCC 88-04.***

Les questions de l'offre et de la demande d'eau futures sont au coeur des évaluations des impacts du climat et suscitent des préoccupations particulières au Canada. Le défi consiste à envisager des stratégies de « gestion adaptative » qui améliorent la résilience des écosystèmes régionaux et qui seraient valables, que le climat change ou non. Cette démarche s'applique particulièrement aux Grands Lacs, où les impacts du changement climatique pourraient être amplifiés par une augmentation de la consommation d'eau et des dérivations à grande échelle.

- **Environnement Canada (1991), *Le changement climatique et ses répercussions sur le Canada : le point de vue scientifique, Sommaire du changement climatique, SCC 91-01.***

La plupart des scénarios de réchauffement climatique prévoient une diminution nette de 25 à 50 % du ruissellement des bassins dans le système des Grands Lacs et du Saint-Laurent, entraînant une baisse du niveau des lacs et une diminution de la production d'hydro-électricité; les bassins des latitudes élevées auraient probablement une augmentation des débits et des inondations à la fonte des glaces.

- **Environnement Canada (1993), *Adaptation au changement climatique et variabilité des ressources en eau du Canada, Sommaire du changement climatique, SCC 93-02.***

D'après ce qu'on sait du réchauffement planétaire, des changements importants du climat et de l'hydrologie sont possibles à une échelle temporelle significative pour la gestion des ressources hydriques. Le réchauffement tendra à exacerber les actuels problèmes de ressources en eau dans le sud des Prairies et les Grands Lacs. Dans les Prairies, on peut prévoir une intensification des sécheresses pendant la saison de croissance estivale, tandis que, dans les Grands Lacs, on peut s'attendre à une baisse des niveaux moyens jusqu'à des minimums historiques.

Répercussions économiques pour le Canada

- **Environnement Canada (1988), *Les perspectives économiques liées aux répercussions de la variabilité et du changement climatique : Rapport sommaire, Sommaire du changement climatique, SCC 88-04.***

Le rapport résume une série de communications sur les méthodes et les applications économiques évaluant les effets de la variabilité et du changement climatiques. Les auteurs des communications sont des membres du Groupe de travail interuniversitaire en économie et sur le changement climatique, dont les bureaux sont situés à l'Institut pour l'étude de l'environnement, Université de Toronto, et du Département d'économie, Université de Waterloo; ils bénéficient, pour leur recherche, du soutien du Programme climatologique canadien.

- **Environnement Canada (1992), *Répercussions du réchauffement planétaire sur la politique du gouvernement canadien, Sommaire du changement climatique, SCC 92-01.***

Les impacts du réchauffement climatique sur des régions ou des secteurs particuliers de l'économie ou de la société canadienne sont plus qu'incertains pour le moment. Les secteurs qui ont des échelles temporelles à long terme, comme la foresterie et la construction de grands ouvrages, devraient adopter immédiatement des politiques d'adaptation. Dans d'autres secteurs, cependant, il serait prématuré d'envisager des politiques et des mesures visant à faciliter l'adaptation aux impacts prévus du réchauffement climatique.

CONCLUSION : ÉVALUATION DE LA RECHERCHE

La littérature sur les impacts du changement climatique sur l'agriculture, l'énergie, la pêche, les forêts, les loisirs et le tourisme, les transports, les ressources hydriques du Canada et leurs incidences sur la circulation des produits et des services, a été obtenue de diverses sources :

- bases de données commerciales;
- documentation spécialisée;
- Internet;
- organismes gouvernementaux;
- organisations non gouvernementales (ONG).

Les résultats de la recherche bibliographique montrent qu'il existe cinq grands organismes ou projets ayant entrepris des recherches sur les liens entre le changement climatique et les sept secteurs clés de l'économie canadienne, notamment :

- A. Le lien économie-environnement en Alberta et les impacts du changement climatique;
- B. Environnement Canada (la série Sommaire du changement climatique);
- C. Répercussions du changement climatique sur le bassin des Grands Lacs (symposium);
- D. Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie;
- E. Table ronde de l'Ontario sur l'environnement et l'économie.

Le lien économie-environnement en Alberta (1989)

Les deux principaux objectifs de cette étude étaient de comparer les récentes anomalies climatiques en Alberta avec les conditions simulées de 2xCO₂, au moyen de MCG, ainsi que de déterminer et, lorsque c'est possible, de quantifier les principaux liens climat-économie en Alberta. L'étude a été réalisée par Acres International Limited et parrainée par Environnement Canada.

La série Sommaire du changement climatique d'Environnement Canada

Le premier numéro de la série Sommaire du changement climatique présentait les principales études des répercussions socio-économiques entreprises depuis 1984. Cette série comprend des études qui examinent les répercussions possibles du réchauffement climatique sur le Canada.

Dans le domaine des transports, *The Implications of Long-Term Climatic Changes on Transportation in Canada: a Summary of a Report*, préparé par le groupe IBI en 1990, constitue, et de loin, l'effort le plus exhaustif (non mentionné dans la présente recherche) portant sur l'ensemble du Canada et tous les modes de transport. Il s'agit en grande partie d'une synthèse des études antérieures, plutôt que d'un effort de recherche primaire.

Répercussions du changement climatique dans le bassin des Grands Lacs (1989)

Ce symposium a eu lieu dans la région de Chicago, du 27 au 29 septembre 1988. Un auditoire choisi de 120 personnes représentant divers intérêts touchés par le changement climatique ont assisté à cette rencontre de trois jours. Les participants représentaient divers organismes municipaux, provinciaux, fédéraux étatiques et universitaires préoccupés par les fléaux naturels, l'agriculture, les ressources hydriques, le climat, les transports, la conservation, les ressources naturelles et les politiques. Les représentants du secteur privé venaient principalement de l'industrie des transports, de compagnies d'électricité, des affaires et du commerce, de l'agriculture et des médias.

Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie (1993-1994)

L'étude d'impact sur le bassin du Mackenzie (rapports provisoires n^{os}1-2, 1993-1994), révisée par S.J. Cohen, est un grand projet pluridisciplinaire portant sur les impacts du réchauffement planétaire sur la vallée du Mackenzie et sur ses habitants. L'étude examine les impacts du changement climatique sur les secteurs clés de l'économie dans la vallée, qui englobe le nord-est de la Colombie-Britannique, le nord de l'Alberta, le nord-ouest de la Saskatchewan, l'ouest des Territoires du Nord-Ouest et certaines parties du sud-est et du nord du Yukon.

Table ronde de l'Ontario sur l'environnement et l'économie

La Table ronde de l'Ontario sur l'environnement et l'économie, créée en 1989, a produit plusieurs rapports qui portent sur les répercussions du changement climatique sur l'économie de l'Ontario. Entre 1989 et 1992, plusieurs groupes d'étude de secteurs clés de l'économie de la province (agriculture et alimentation, énergie et minéraux, foresterie, fabrication, transports, aménagement urbain et commerce) ont été formés et ont produit un rapport pour chaque secteur.

RÉFÉRENCES

Acres International Limited (1989) *The Environment/Economy Link in Alberta and the Implications under Climate Change Report*, P08725.00, Calgary, Alberta.

Armstrong, G. W. (1994), *Timber Supply Impacts of Climate Change in the Mackenzie (same remark as before) Basin*, dans Cohen, S.J. (dir.), *Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie : Rapport provisoire n° 2*, Environnement Canada, nov. 1994.

Brklacich, M. et P. Curran (1994), *Climate Change and Agricultural Potential in the Mackenzie Basin*, dans Cohen, S.J. (dir.), *Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie : sommaire du rapport provisoire n° 2*, Environnement Canada, nov. 1994.

Cohen, S.J. (dir.) (1993), *Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie : Rapport provisoire n° 1*. Environnement Canada.

Cornelis van Kooten, G., (1995) « Climate Change and Canada's Boreal Forest: Socio-economic Issues and Implications for Land Use », *Revue canadienne d'économie rurale* 43, 133-148.

DiFrancesco, R.J. et S.C. Lonergan (1994), « Examining regional sensitivity to climate change using aggregate input-output data: the case of transportation in the Northwest Territories », *Revue canadienne des sciences régionales* 17(2), été 1994, p. 233-257.

Environnement Canada (1987), *Conséquences du changement climatique sur l'agriculture en Ontario*, Sommaire du changement climatique, SCC 87-02.

Environnement Canada (1987), *Répercussions d'un changement de climat sur la navigation et la production d'électricité dans les Grands Lacs*, Sommaire du changement climatique, SCC 87-03.

Environnement Canada (1988), *Répercussions du changement climatique sur l'agriculture dans les provinces des Prairies*, Sommaire du changement climatique, SCC 88-01.

Environnement Canada (1988), *Étude préliminaire des effets éventuels d'une hausse d'un mètre du niveau de la mer à Charlottetown (Île-du-Prince-Édouard)*, Sommaire du changement climatique, SCC 88-02.

Environnement Canada (1988), *Les répercussions du changement climatique sur le tourisme et les loisirs en Ontario*, Sommaire du changement climatique, SCC 88-05.

Environnement Canada (1988), *Évaluation des effets du changement climatique sur l'agriculture en Saskatchewan, Canada*, Sommaire du changement climatique, SCC88-06.

Environnement Canada (1988), *L'évaluation socio-économique des conséquences physiques et écologiques du changement climatique sur le milieu marin dans la Région de l'Atlantique : Phase 1*, Sommaire du changement climatique, SCC 88-07.

Environnement Canada (1988), *Les répercussions d'un changement climatique sur les ressources naturelles du Québec*, Sommaire du changement climatique, SCC88-08.

Environnement Canada (1989), *Le réchauffement climatique et la position relative du Canada en agriculture*, Sommaire du changement climatique, SCC 89-01.

Environnement Canada (1989), *L'exploration des incidences du changement climatique sur la forêt boréale et l'économie forestière de l'ouest du Canada*, Sommaire du changement climatique, SCC 89-02.

Environnement Canada (1989), *Les répercussions du changement climatique sur le parc national de Prince-Albert, en Saskatchewan*, Sommaire du changement climatique, SCC 89-03.

Environnement Canada (1989), *Les répercussions d'un changement climatique sur les besoins en eau des municipalités et sur l'industrie du golf au Québec*, Sommaire du changement climatique, SCC 89-04.

Environnement Canada (1989), *Les effets du climat et du changement climatique sur l'économie de l'Alberta*, Sommaire du changement, SCC 89-05.

Environnement Canada (1990), *Les répercussions du changement de climat sur les petites localités côtières de la région de l'Atlantique, au Canada*, Sommaire du changement climatique, SCC 90-01.

Environnement Canada (1990), *Les répercussions du changement climatique à long terme sur le transport au Canada*, Sommaire du changement climatique, SCC 90-02.

Environnement Canada (1991), *Le changement climatique et ses répercussions sur le Canada : le point de vue scientifique*, Sommaire du changement climatique, SCC 91-01.

Environnement Canada (1992), *Répercussions du réchauffement planétaire sur la politique du gouvernement canadien*, Sommaire du changement climatique, SCC 92-01.

Environnement Canada (1992), *Étude des modèles de prévision des variations climatiques et de leurs incidences sur l'hydrologie, les courants côtiers et les pêches en Colombie-Britannique*, Sommaire du changement climatique, SCC 92-02.

Environnement Canada (1993), *Incidences du changement climatique sur le régime glaciaire de la mer de Beaufort : répercussions sur l'industrie pétrolière dans l'Arctique*, Sommaire du changement climatique, SCC 93-01.

Environnement Canada (1993), *Adaptation au changement climatique et variabilité des ressources en eau du Canada*, Sommaire du changement climatique, SCC 93-02.

Environnement Canada (1994), Résumé du colloque : *Une réaction régionale au changement climatique planétaire : la Nouvelle-Angleterre et l'est du Canada*, Sommaire du changement climatique, SCC 94-03.

Environnement Canada (1994), *Incidences potentielles du réchauffement climatique sur la production de saumon dans le bassin hydrographique du fleuve Fraser*, Sommaire du changement climatique, SCC94-04.

Environnement Canada (1995), *Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie : Sommaire du rapport provisoire n° 2*, Sommaire du changement climatique, SCC 95-01.

Great Lakes Institute, *Implications of Climate Change for Navigation and Power Generation in the Great Lakes*, University of Windsor, Windsor (Ontario) (Phase I Report, mars 1985; Phase II Report, mars 1986) .

Lamothe et Périard Ltée. (1987), *Implications of Climate Change for Downhill Skiing in Quebec*, Montréal, Québec, mai 1987.

Lonergan, S., R. DiFrancesco et M.K. Woo (1993), « Climate change and transportation in Northern Canada: an integrated impact assessment », dans *Climatic Change*.

Lonergan, S. (1989), *An overview of potential effects of rapid warming on the Canadian Arctic*, in Topping Jr., J.C. (dir.), *Coping with Climate Change*. Climate Institute, Washington, D.C. p. 464-468.

Lonergan, S. et M.K. Woo (1989), *The impacts of climate warming on transportation in the Canadian Arctic*, Climate Institute Symposium on the Arctic and Global Change, Ottawa, Ont., 26 oct., 1989. p. 81-95.

Smith, J.P. (1989), *An overview of EPA studies of the potential impacts of climate change on the Great Lakes Region*, in Topping Jr., J.C. (dir.), *Coping with Climate Change*. Climate Institute, Washington, D.C. p. 532-541.

Stokoe, P. K. (1989), *Strategies to respond to climate change and sea-level rise in Atlantic Canada*, dans Topping Jr., J.C. (dir.), *Coping with Climate Change*. Climate Institute, Washington, D.C. p. 521-525.

The U.S. National Climate Program Office and the Canadian Climate Centre (1989), *Impacts of Climate Change on the Great Lakes basin*, Symposium 1988, du 27 au 29 sept., à Oak Brook, IL.

Transportation and Climate Change Collaborative (TCCC) and Ontario Round Table on Environment and Economy (1995), *A Strategy for Sustainable Transportation in Ontario: Report*.

University of British Columbia Disaster Preparedness Resources Centre and British Columbia Provincial Emergency Program (1993), *British Columbia Hazard, Risk and Vulnerability Analysis*. Vancouver, B.C.

University of Manitoba (1987), *Implications of Climate Change for Agriculture in the Prairie Provinces*, Department of Agricultural Economics and Farm Management, Winnipeg, Manitoba, Phase III Report, mai 1987.

University of Waterloo (1985), *Impact of Climate Change on Ontario Tourism and Recreation*, Department of Geography, Waterloo, Ontario, 1985.

Annexe A-1 Description des bases de données commerciales

Base de données et auteur	Durée	Genre de support	Description
<i>Documents gouvernementaux :</i>			
Canadian Research Index-MicroLog (Micromedia Ltd.)	1982-déc. 1996	CD-ROM	Documents fédéraux, provinciaux et municipaux. Index des titres et des résumés des publications des gouvernements fédéral et provinciaux et d'administrations municipales. Inclut des documents de recherche scientifique et technique en physique, en sciences naturelles et en sciences sociales. Comprend aussi des exposés de principes, des publications statistiques et des rapports annuels.
<i>Documents spécialisés :</i>			
Compendex	1987-janv. 1997	Polaris (Univ. d'Ottawa)	Littérature technique. Base de données englobant la littérature technique mondiale de toutes les disciplines du génie, ainsi que de domaines connexes en sciences et en gestion. Les documents sont tirés de 2 600 revues publiées, comptes rendus de conférences, communications de conférences, rapports techniques, monographies et autre matériel.
Econlit (American Economic Association)	1969-sept. 1996	CD-ROM	Littérature en économie. Bibliographie indexée avec résumés choisis de documents économiques mondiaux. Englobe plus de 400 revues importantes, ainsi que des articles d'ouvrages collectifs (essais, comptes rendus de conférences, etc.), des ouvrages, des critiques de livres, des dissertations et des documents de travail choisis.
Geography (Résumés de Elsevier/Géo)	1990-nov. 1996	CD-ROM	Littérature en géographie Englobe la littérature internationale en géographie physique et humaine, à partir de 2 000 revues, monographies, ouvrages, comptes rendus de conférences, rapports et mémoires.

Annexe A-2 *Revue dans le domaine des transports*

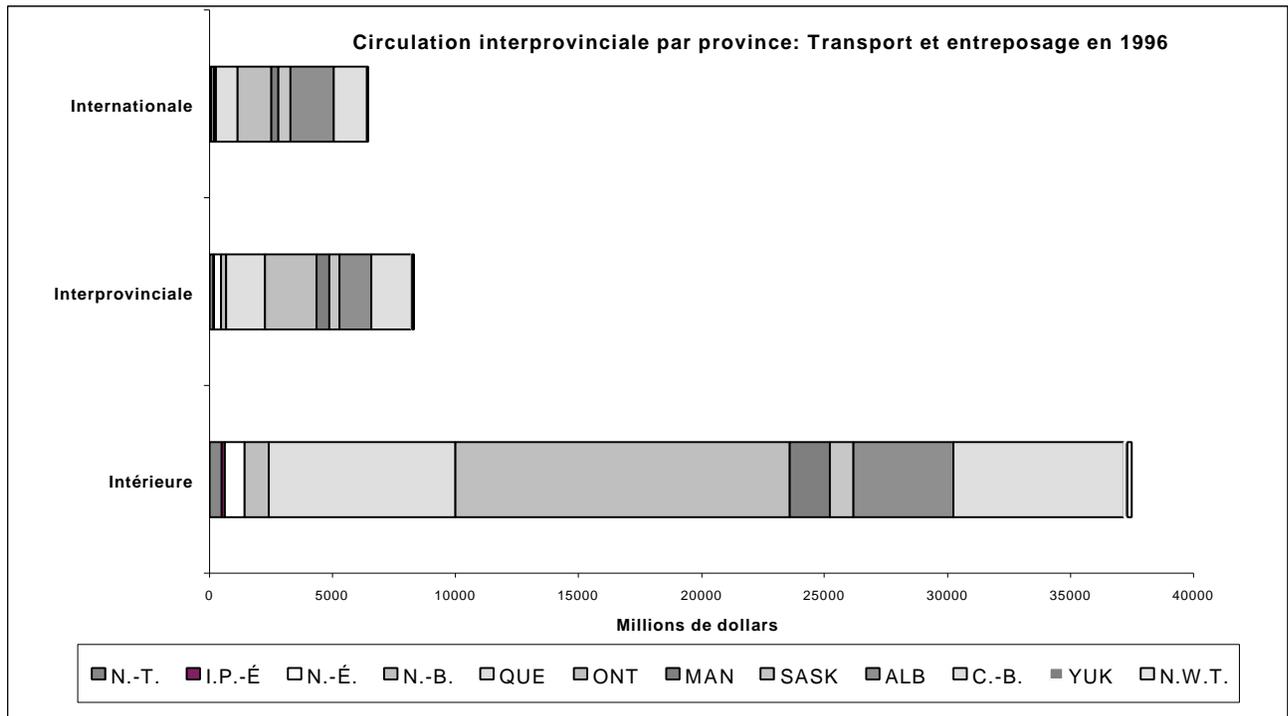
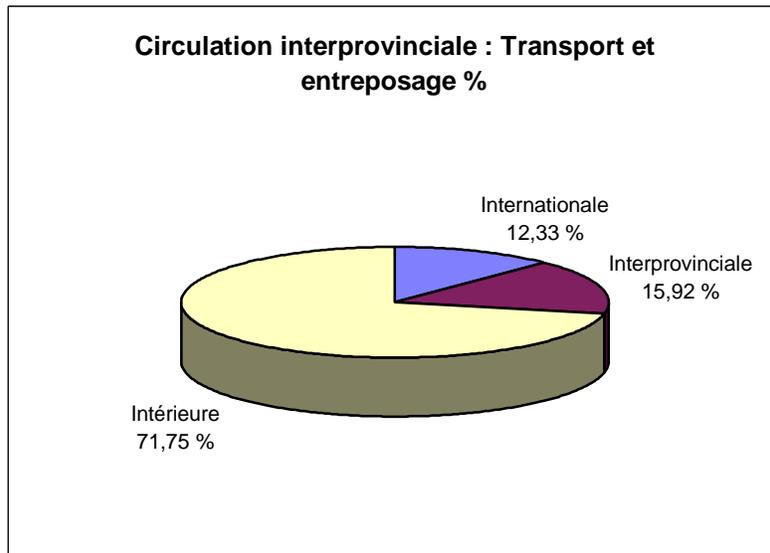
Plusieurs revues dans le domaine des transports ont également été dépouillées à la recherche d'articles sur le changement climatique et le secteur canadien des transports. Bien que plusieurs articles aient porté sur le réchauffement planétaire et les émissions de CO₂, aucun ne visait principalement le secteur *canadien* des transports.

Nom de la revue	Durée	Éditeur
Transportation	1983-1995	Kluwer Academic Publishers
Transportation Research A & B	1983-1994	Pergamon Press
Transportation Journal	1983-1995	American Society of Transportation and Logistics
Transportation Planning and Technology	1983-1996	Gordon and Breach Science Publishers, SA.
Journal of Transport Economics and Policy	1983-1995	London School of Economics and Political Science et université de Bath

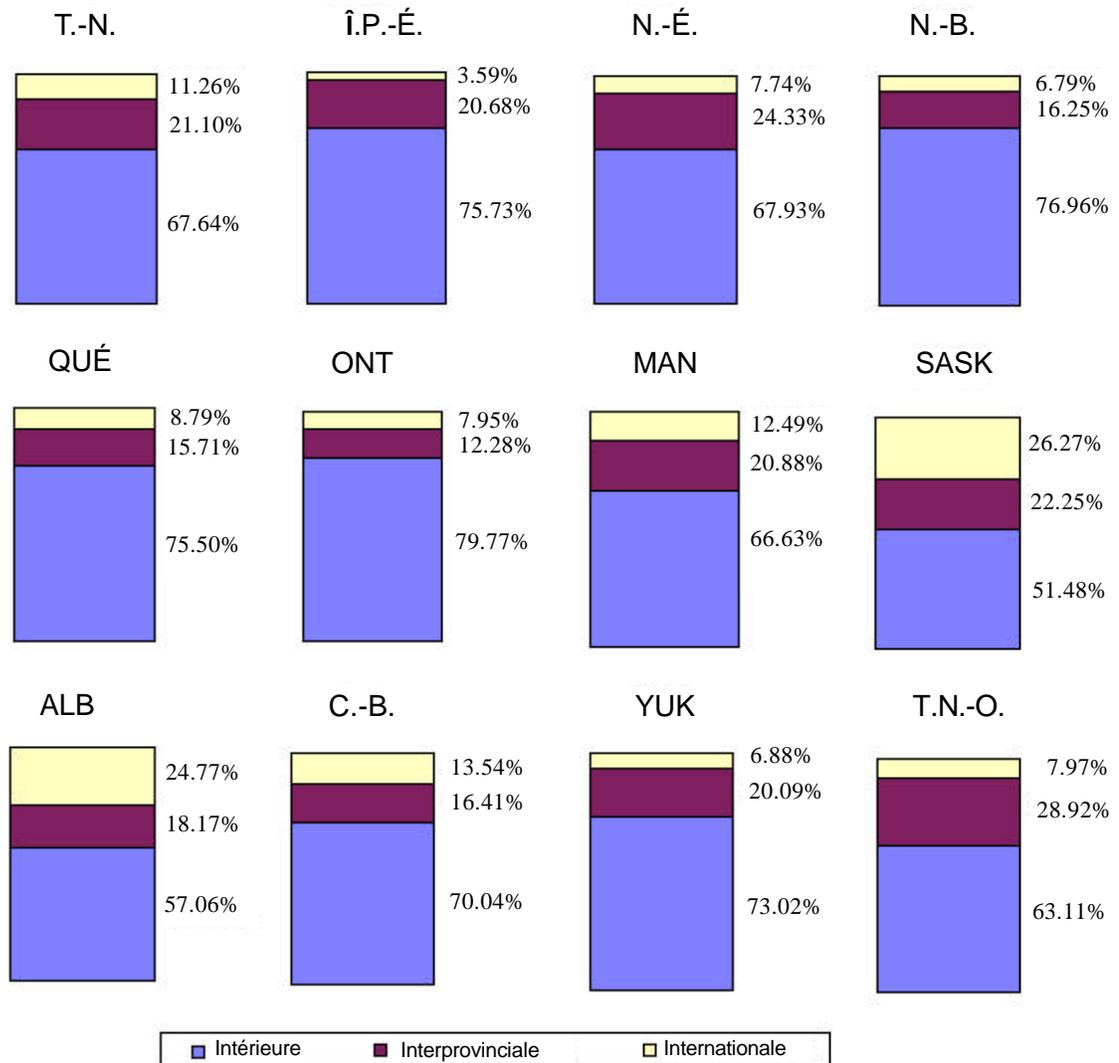
Tableau A-3 Organismes non gouvernementaux

Organisme	Communi- cation téléphonique	Site Web	Résultats
Les Amis de la Terre	✓	✓	En 1988-1989, Les Amis de la Terre ont rassemblé des « fiches d'information » de sources secondaires sur les transports et le changement climatique. Cependant, depuis cet effort initial, les « fiches » n'ont pas été mises à jour en fonction des connaissances actuelles et des études internes.
Greenpeace		✓	Aucune documentation encore sur le site Web portant principalement sur les effets du changement climatique sur le secteur des transports au Canada. Greenpeace a toutefois une base de données exhaustive en direct contenant des articles et des communiqués sur le changement climatique. Il a aussi de l'information sur l'écologisation des transports.
Institut international du développement durable	✓	✓	Selon Marlene Roy (agente d'information), un <u>rapport sur le changement climatique et les transports est sur le point d'être achevé</u> . On ne sait pas encore s'il sera rendu public.
Pembina	✓	✓	Peu d'information sur le site Web. Laissé un message téléphonique à Robert Hornung (directeur), mais il n'a pas encore rappelé.
Pollution Probe	✓	✓	Aucune publication directement liée au changement climatique et au secteur des transports au Canada. Autres publications disponibles : <i>The Costs of the Car</i> , <i>Greening Canada's Passenger Transportation Systems</i> et <i>Trade and the Environment</i> . Pollution Probe distribue des trousseaux d'information par la poste sur divers sujets y compris sur le changement climatique.
Sierra Club	✓	✓	Le Sierra Club a élaboré une « fiche d'information » sur les véhicules automobiles et le changement climatique. Selon cette fiche, le Sierra Club a terminé une étude en septembre 1996, intitulée <i>Rational energy program: analysis of rational measures to the year 2010</i> , au sujet des normes de consommation de carburant et des émissions de dioxyde de carbone.
Fonds mondial pour la nature		✓	Le Fonds mondial pour la nature mène présentement une « campagne sur le changement climatique ». Son site Web (http://www.panda.org) contient de l'information sur le changement climatique et des liens vers d'autres sites dans ce domaine. Cependant, le site ne donne pas de liste de rapports particuliers quant aux effets du changement climatique sur le secteur des transports au Canada.

Annexe B-1 Graphiques de la circulation interprovinciale des marchandises : Transport et entreposage en 1996



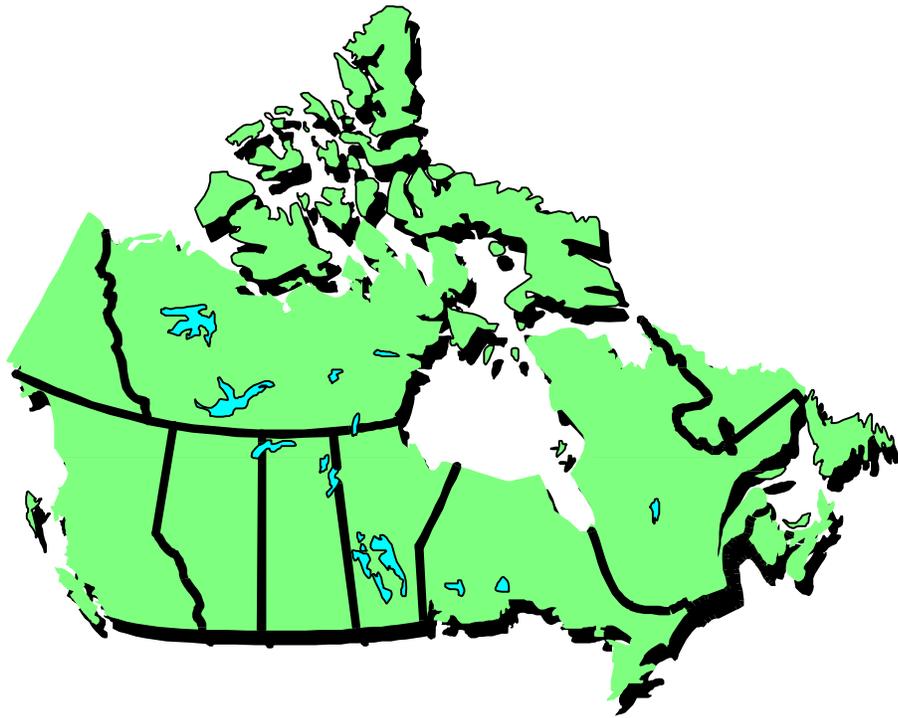
Circulation interprovinciale : Transport et entreposage (%)



CHAPITRE SIX

ALTÉRATION DES PAYSAGES : SYNTHÈSE DE CERTAINS ASPECTS DE L'ÉTUDE PAN-CANADIENNE

Hague H. Vaughan¹



1. Hague H. Vaughan, Institut national de recherche sur les eaux, Environnement Canada, 867 rue Lakeshore, Burlington, Ontario L7R 4A6

RÉSUMÉ

Les activités humaines font peser sur nos écosystèmes et sur l'ensemble de leurs éléments environnementaux, sociaux et économiques interdépendants la menace de changements climatiques d'une vitesse et d'une gravité telles qu'ils risquent dans bien des cas de dépasser le potentiel d'adaptation de ces écosystèmes, de bouleverser leur intégrité et de détériorer celles de leurs caractéristiques dont nous sommes devenus tributaires. Si tel est le cas, cela n'affectera pas seulement notre bien-être personnel, mais celui des générations futures, compromettant par là même tout engagement qu'il serait possible de prendre à l'égard de la durabilité. Le recensement des impacts probables sur le volet paysages de l'organisation des écosystèmes est alarmant, mais également instructif en ce sens qu'il permet de déterminer les secteurs prioritaires où des mesures axées sur les risques sont les plus urgentes et auront sans doute les retombées les plus bénéfiques.

Les impacts varieront selon les régions du Canada, tout comme la configuration du changement climatique. Tous les impacts du changement climatique probable ne sont pas négatifs. Le réchauffement du climat entraînera un allongement des saisons sans glace qui sera bénéfique aux transports par eau, une baisse des coûts de déneigement et de déglacage des routes, une baisse des frais de chauffage, l'accès à de nouvelles terres agricoles et la pratique de nouvelles cultures, une « fertilisation » par le CO₂ de la croissance des végétaux; il aura aussi des effets bénéfiques sur la distribution des poissons d'eau de mer. Il y aura en outre des gagnants et des perdants au fur et à mesure de la migration des zones se prêtant à certaines activités économiques. La situation pourrait avoir des impacts sur l'agriculture, l'aquaculture, les loisirs de plein air, les pêches commerciales et récréatives, les stations de ski et les aménagements côtiers. Selon que la vitesse de l'adaptation suivra plus ou moins bien celle du changement, les résultats seront plus ou moins faciles à accepter.

Le changement climatique prévu modifiera un bon nombre des variables fondamentales qui définissent les paysages existants, notamment :

1. Le réchauffement, qui se traduira par des hivers plus cléments, un plus grand cumul de degrés-jours durant la saison de croissance, une évapotranspiration accrue, une diminution de la couverture de glace sur les lacs, les cours d'eau et les océans, un rétrécissement des zones de pergélisol, une diminution de l'épaisseur du manteau neigeux et donc des écoulements printaniers.
2. Les précipitations qui seront en général plus abondantes et plus variables, et tomberont de moins en moins sous forme de neige.
3. Le niveau de la mer qui s'élèvera régulièrement, submergeant les terres basses et accentuant l'érosion du littoral.
4. Les variations de températures et de précipitations, dont l'interaction aura pour effet de réduire les niveaux et les débits d'eau l'été, de modifier le bilan hydrique des milieux humides, de rallonger le temps de renouvellement de l'eau dans les lacs, de menacer les milieux humides saisonniers et semi-permanents, de réduire les habitats des poissons d'eaux froides et de modifier la température de la mer en surface et sa salinité. Il se peut que les étés soient plus humides localement, mais l'évapotranspiration accrue se soldera généralement par une baisse

du volume d'eau disponible, par une diminution de l'humidité du sol et par une augmentation de la demande d'eau.

5. L'augmentation du nombre et de la gravité des phénomènes extrêmes aura pour effet de déstabiliser les paysages et les écosystèmes existants.

Il en résultera de vastes changements au niveau du paysage qui seront gouvernés par les forces suivantes :

- migration des aires de répartition et altération des écozones;
 - modification et variabilité accrue de l'hydrologie;
 - fonte du pergélisol;
 - élévation du niveau de la mer.
1. Les ceintures de la taïga et de la forêt boréale devraient migrer d'environ 500 km vers le nord, dans les conditions prévues de doublement du CO₂. À mesure que les niveaux de CO₂ continueront de monter, mais, espérons-le, moins rapidement, la végétation ne commencera à approcher d'un état d'équilibre par rapport au climat local que lorsque la vitesse du changement sera bien moindre que ce que l'on prévoit pour le proche avenir. Selon les prévisions actuelles, ce ne seront pas la taïga ou la forêt boréale telles que nous les connaissons qui migreront vers le nord, mais plutôt les essences adaptables qui migrent plus rapidement, comme celles dont les graines se disséminent plus loin, et qui ont une croissance plus rapide et une maturation plus précoce. Il est donc plus probable que la végétation ressemble aux premiers stades de succession. Certaines espèces sauvages, certains attributs désirables des écosystèmes et certains volets de l'économie en profiteront, mais d'autres en souffriront. Par exemple, les connaissances traditionnelles des peuples autochtones des régions affectées deviendront moins pertinentes ou moins utiles, puisque les paysages et les communautés fauniques auront changé.
 2. L'écozone du Bas-Arctique, habitat des Inuits du Canada, devrait virtuellement disparaître de tout le continent nord-américain sous un climat où les concentrations de CO₂ auront doublé. Cette écozone englobe aujourd'hui les aires d'estivage et de mise bas des plus grands troupeaux de caribous du Canada, et constitue l'habitat de l'ours, du loup, de l'orignal, du spermophile arctique et du lemming. C'est une importante aire de reproduction et de nidification pour divers oiseaux migrateurs, dont le plongeon arctique, le plongeon à bec blanc et le plongeon catmarin, le cygne siffleur, l'oie des neiges, le harelde kakawi, le faucon gerfaut, le lagopède alpin et le harfang des neiges.
 3. La dynamique climatique probable entraînera généralement une moindre disponibilité de l'eau et une plus grande variabilité des niveaux et des débits. La disponibilité de l'eau est une variable fondamentale qui définit le schéma et le processus des paysages, de même que les éléments interdépendants de la géographie économique et sociale. La plupart des industries actuelles, des milieux bâtis et des réseaux de transport et de distribution ne sont pas particulièrement résistants face à des changements du type et de l'ampleur que l'on prévoit, surtout s'ils sont déstabilisés par des phénomènes extrêmes plus nombreux et plus graves. Les éléments positifs sont rares et les impacts devraient toucher considérablement les écosystèmes aquatiques, les espèces sauvages, l'activité touristique, les loisirs, la valeur des propriétés, les

transports, la production d'électricité, les pêches, le traitement des effluents et de l'eau potable, le dragage des chenaux, le remplissage des étangs de retenue et le volume d'eau disponible localement pour l'agriculture, l'industrie et les zones urbaines.

4. Les zones de pergélisol devraient migrer d'environ 500 km vers le nord sous un climat où la concentration de CO₂ sera double. Cela aura de graves conséquences sur l'hydrologie, les espèces sauvages, la biodiversité, les valeurs culturelles et les modes de vie. On assistera à des glissements de terrain massifs ainsi qu'à une augmentation des charges de sédiments dans les cours d'eau et les lacs. Un mollisol plus profond réduira l'écoulement en surface, tandis que sa capacité de stockage et les infiltrations augmenteront. L'hydrologie régionale sera profondément modifiée à mesure que l'eau des lacs, des étangs et des milieux humides situés sur du pergélisol ou délimités par un noyau de pergélisol ruissellera en surface ou vers la nappe phréatique.

Ces impacts s'étendront sans doute aux infrastructures et aux transports, affectant l'intégrité des fondations (oléoducs, ponts et édifices), les ouvrages de régularisation des eaux, les routes de glace, et faisant fondre les lits de pergélisol présumés imperméables des étangs de résidus miniers. Les nouvelles conditions d'inondation et de charge en sédiments auront un impact sur les habitats de milieux humides importants sur le plan international, comme ceux du delta Paix-Athabaska-Esclaves et du delta du Mackenzie, ainsi que des basses terres de la baie d'Hudson et du golfe de la Reine-Maud.

5. Les paysages économiques et les zones naturelles du littoral seront profondément touchés à mesure que l'élévation du niveau de la mer et les ondes de tempête entraîneront l'érosion du littoral, la redistribution des sédiments, la disparition d'habitats, la salinisation des réserves d'eau et l'augmentation des inondations côtières. De nombreux milieux humides côtiers et plages seront pris en étau entre la mer qui se rapprochera et les ouvrages de travaux publics. D'innombrables localités côtières sont vulnérables aux inondations dues à la hausse du niveau marin ou aux tempêtes, particulièrement Charlottetown, dont le centre-ville, avec certaines propriétés de très grande valeur, et d'importantes sections du système d'égouts, est menacé. En réponse à l'élévation du niveau de la mer, on peut ériger des digues pour retenir la mer, surélever les terres pour compenser la hausse de niveau, ou bien laisser la mer avancer et s'adapter à cette nouvelle situation. Chacune de ces réponses présente des avantages et des inconvénients.

Même s'il peut y avoir quelques éléments positifs, la majeure partie des incidences du changement climatique prévu sur les paysages canadiens seront graves, généralisées et durables. Elles présentent donc de sérieux risques pour le bien-être des Canadiens et l'on devrait sérieusement veiller à les minimiser. C'est pourquoi l'on recommande :

- de procéder à une évaluation précise de ces risques et de les faire connaître;
- d'accélérer la détermination et la mise en oeuvre des options les moins coûteuses permettant aux écosystèmes (notamment leurs éléments environnementaux, sociaux et économiques) de s'adapter à la variabilité des conditions;

- d'étudier sérieusement les possibilités déterminées par l'Étude pancanadienne pour s'adapter à ces impacts et à d'autres impacts potentiels du changement climatique;
- de tenir dûment compte de la nature et de l'ampleur de ces risques dans l'élaboration de stratégies nationales sur les émissions de gaz à effet de serre.

INTRODUCTION

Le regretté Edward S. Deevey (1914-1988) avait coutume de rappeler à quel point l'eau douce est un bon domaine d'étude pour un écologiste, notamment en raison de son utilité pour comprendre et gérer les écosystèmes (comm. pers.). Son argument était que l'atmosphère réagit en fait trop pour permettre de bien comprendre les écosystèmes, à moins de l'échantillonner et de l'étudier à l'excès pour remédier à son inaptitude caractéristique à intégrer les événements et les conditions à des échelles de temps convenables. Pour les terres, c'est tout le contraire : elles sont lentes à changer de sorte que toute réaction à des événements ou à des interventions est trop progressive pour permettre de bien évaluer ou gérer l'écosystème. L'eau douce semble avoir été faite à dessein, puisqu'elle intègre et qu'elle exprime les conditions de l'écosystème à une vitesse pratique et qu'elle renferme même, dans les sédiments de chaque époque, un trésor de données sur les conditions qui régnaient alors. Je me demande parfois ce qu'il penserait aujourd'hui à nous voir réfléchir sur la façon de faire face à des changements atmosphériques si forts qu'ils peuvent altérer et détériorer des paysages hautement inertes.

Les transformations de l'atmosphère provoquées par l'activité humaine sont d'une telle ampleur qu'on peut les discerner sur le bruit de fond élevé de la variabilité normale, et que leurs tendances futures probables font peser de sérieuses menaces sur le bien-être de l'humanité. L'eau douce, pour reprendre les mots de John Pomeroy (1997) :

... a trois rôles importants à jouer dans la réponse de l'écosystème et son interaction avec les changements atmosphériques.

1. Elle *relaie* vers l'environnement du Canada des changements subis par l'atmosphère;
2. Elle *amortit* ces changements;
3. Elle *abrite* les écosystèmes aquatiques touchés par ces changements.

En tant que relais, l'eau assure le transfert de masse, d'énergie et de composants biochimiques dans et entre les écosystèmes et entre la surface et l'atmosphère, sous la forme d'eau, de vapeur d'eau, de neige et de glace; l'eau transmet ainsi les impacts du changement climatique dans tout le pays et au-delà des frontières écologiques et politiques. Sous la forme d'eau du sol, elle transmet à celui-ci les impacts de la sécheresse et, sous celle d'inondations, elle transfère en aval les impacts des fortes précipitations. L'eau douce peut, dans une certaine mesure, amortir le changement climatique car elle est stockée dans le paysage sous forme de lacs, de manteau neigeux, de glaciers, de terres humides et de cours d'eau, et qu'elle emmagasine l'énergie latente.

À ce titre, l'eau douce n'est pas seulement le meilleur moyen de détecter les changements survenus dans un écosystème, mais aussi, au niveau du paysage, un mode de transmission de ces changements, et d'un grave stress, aux écosystèmes. Cette notion est relativement nouvelle. Par le passé, on pouvait penser que le paysage, et la répartition des activités et des établissements humains, était un reflet de certaines caractéristiques de la géologie et de la topographie (et peut-être même des sols) dans un climat relativement stable. Les géologues et les paléo-écologistes, pour ne citer qu'eux, savent que ces constances sont dans une certaine mesure une illusion et que le paysage ne rattrape jamais vraiment les variations à long terme, mais en fait se transforme constamment pour suivre les régimes locaux à un certain nombre d'échelles. Il s'ensuit *entre autres* le genre d'équilibre entre la spécialisation et l'adaptabilité qui convient à la vitesse, au niveau et au type de changement en jeu. La situation est la même pour la nature et la distribution spatiale de l'activité humaine.

Les activités humaines font aujourd'hui peser sur nos écosystèmes et tous leurs éléments environnementaux, sociaux et économiques interdépendants la menace de changements climatiques d'une vitesse et d'une gravité telles qu'ils risquent dans bien des cas de dépasser le potentiel d'adaptation de ces écosystèmes, de bouleverser leur intégrité et de détériorer celles de leurs caractéristiques dont nous sommes devenus tributaires. Si tel est le cas, cela n'affectera pas seulement notre bien-être personnel, mais aussi celui des générations futures, compromettant par là même tout engagement qu'il serait possible de prendre à l'égard de la durabilité.

L'Étude pan-canadienne (ÉPC) vient renforcer les craintes, déjà bien fondées, d'une menace qui pèse sur le Canada et sur le bien-être de sa population. La prise de décisions et de politiques judicieuses repose sur une évaluation et une appréciation précises de cette menace. En abordant l'intégration au niveau du paysage, ce chapitre cherche à résumer certaines des menaces qui sont décrites ailleurs dans l'ÉPC. La probabilité d'impacts à ce niveau d'organisation de l'écosystème est effectivement alarmante, mais elle aide à déterminer les secteurs prioritaires où des mesures fondées sur les risques sont les plus urgentes et auront sans doute les retombées les plus bénéfiques.

Le risque est un produit de la probabilité et de la gravité d'un phénomène. Étant donné que les probabilités relatives aux changements des variables climatiques qui influenceront le plus sur les écosystèmes demeurent incertaines à l'heure actuelle, surtout au niveau local, l'évaluation des impacts comporte toujours un élément de conjecture. Malgré cela, la gravité de ces impacts suffit à justifier que l'on veuille trouver rapidement toute possibilité de les minimiser ou de s'y adapter.

Les impacts du changement climatique probable ne sont pas tous négatifs. Un réchauffement du climat entraînera un allongement des saisons sans glace qui sera bénéfique aux transports par eau, une diminution des coûts de déneigement et de déglacage des routes, une baisse des frais de chauffage, l'accès à de nouvelles cultures et à de nouvelles terres agricoles, une « fertilisation » par le CO₂ de la croissance des plantes, en plus d'avoir sans doute des impacts bénéfiques sur la distribution des poissons de mer. De plus, il y aura des gagnants et des perdants à mesure que migreront les zones qui se prêtent à des activités économiques bien précises. Il pourrait s'agir entre autres des impacts sur l'agriculture, l'aquaculture, les loisirs de plein air, les pêches commerciales et récréatives, les stations de ski et les aménagements côtiers. Suivant que la vitesse

de l'adaptation suivra plus ou moins celle du changement, les résultats seront plus ou moins faciles à accepter.

Ce chapitre ne se veut ni un examen exhaustif des éléments abordés ailleurs dans l'ÉPC, ni une répétition de l'épaisse littérature scientifique analysée ici. C'est plutôt une synthèse des données qui en résultent et qui visent à attirer l'attention sur les risques que posent les impacts sur les écosystèmes à grande échelle.

MANIFESTATIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les modèles de circulation générale (MCG) décrivent avec de plus en plus d'élégance et de détails les conditions climatiques moyennes qui pourraient régner dans environ 50 ans, lorsque la concentration de CO₂ aura doublé. Même si les différents modèles donnent des résultats différents, ces différences sont faibles par rapport aux altérations climatiques globales sur lesquelles ils concordent. Les résultats des premiers « modèles à l'équilibre » reposaient sur un doublement de la concentration de CO₂ suivi d'une période de stabilisation des conditions climatiques dans un modèle mondial où l'influence des océans était régulièrement sous-estimée. Les « modèles aux états transitoires » plus récents se sont améliorés sous ces deux rapports en incorporant un couplage avec des océans complexes et des augmentations graduelles de la concentration de CO₂, tout en tenant compte des impacts locaux de refroidissement par les aérosols. L'évolution future probable de la population humaine et du développement économique y sont également pris en considération. L'ÉPC repose sur ces descriptions pour évaluer les vulnérabilités probables du Canada et des Canadiens et les impacts de ces phénomènes sur eux. Trois problèmes se posent alors :

- Rien ne permet de supposer que la concentration de CO₂ atmosphérique marquera un temps d'arrêt lorsqu'elle aura doublé : le Canada et le reste du monde n'ayant pas réussi à atteindre un équilibre entre la croissance économique et les émissions de gaz à effet de serre (GES), il est pratiquement certain que ces concentrations vont tripler, voire quadrupler. Les évaluations de l'ÉPC sont donc au mieux éminemment prudentes.
- Les manifestations du changement climatique varieront localement ou régionalement et les sorties des MCG existants sont trop grossières pour permettre beaucoup de précision à ces niveaux. En outre, on sait très mal comment se déroulera le changement des variables climatiques qui influent beaucoup sur les écosystèmes (tableau 6.1), même si des interpolations commencent à se dégager des modèles des états transitoires.
- Un élément du climat qui revêt une importance cruciale pour les écosystèmes est la variabilité dans l'année et entre années, surtout lorsqu'elle concerne les phénomènes climatiques extrêmes (voir le chapitre sur les phénomènes extrêmes). Les MCG ne se sont jamais vraiment penchés sur la variabilité, même si la plupart des spécialistes s'accordent à penser que les phénomènes extrêmes (sécheresses, inondations, tempêtes, incendies, dégels hivernaux, gels printaniers et automnaux, etc.) augmenteront en gravité et en nombre.

Tableau 6.1 Variables cruciales nécessaires à une amélioration de la prédiction des impacts du changement climatique sur les écosystèmes régionaux

<p>Évolution à l'échelle régionale des moyennes saisonnières et du degré de variabilité interannuelle des phénomènes suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • température, précipitations, vent et rayonnement; • intensité et probabilité d'occurrence de phénomènes extrêmes comme les sécheresses, les tempêtes et les inondations; • distribution, épaisseur, étendue et durée du manteau neigeux; • précipitations à différentes altitudes; • probabilité d'anomalies à court terme comme des gelées de fin de printemps/d'été, du temps doux ou de la pluie au milieu de l'hiver, et de violentes tempêtes printanières; • rayonnement UVB et flux de chaleur en surface; • pressions au niveau de la mer.
<p>Ces connaissances autoriseraient de meilleures estimations des variables influant significativement sur les écosystèmes, notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> • bilan massique glaciaire; • évaporation; • régimes des températures, des précipitations et des vents à diverses altitudes; • fonte des neiges et eaux de ruissellement; • évapotranspiration; • bilan hydrique des milieux humides; • hauteur des vagues et transferts de masse air-eau; • temps de renouvellement de l'eau dans les lacs; • longueur et variabilité de la saison de croissance; • cumul et variabilité des degrés-jours de croissance; • étendue, épaisseur et durée de la couche de glace; • variabilité interannuelle et sur l'année des niveaux et des débits des cours d'eau; • dégradation des deltas et des zones estuariennes; • vitesse d'élévation du niveau de la mer; • apports d'eau douce dans le Pacifique Nord sous forme de précipitations directes et de débits fluviaux; • tendances du carbone organique dissous (COD) des lacs et expositions aux UVB; • disparition de lacs, d'étangs et de milieux humides; • disparition d'habitats des poissons d'eaux froides; • variabilité de l'approvisionnement en eau; • température de surface et salinité de la mer; • brassage, stratification et circulation océaniques.

Grâce à ces données, il est possible d'évaluer les réponses des écosystèmes et les impacts qu'ils subissent

Source : *Ecological Effects to Atmospheric Changes*, Institut national de recherche sur les eaux, Environnement Canada, 1997

D'après ce que nous savons aujourd'hui, le processus de changement climatique résultant de facteurs naturels et anthropiques au Canada a toutes les chances de présenter un certain nombre d'aspects interactifs dans les années à venir :

- évolution systématique vers des étés plus chauds et plus longs et des hivers plus courts et plus humides, avec moins de précipitations sous forme de neige (confiance élevée);
- augmentation du nombre et de la gravité des phénomènes extrêmes, notamment des sécheresses, des tempêtes et des inondations (confiance moyenne);
- augmentation de la variabilité interannuelle (confiance basse).

Tant qu'on ne dispose pas d'un moyen de limiter les émissions mondiales de gaz à effet de serre de manière efficace et acceptable, rien ne permet de prévoir à l'heure actuelle à quel stade ces tendances prendront fin.

Cette modification du climat présentera des variations à l'échelle régionale. Déjà, nous voyons que le réchauffement est maximal dans le nord-ouest, alors que la région de l'Atlantique se refroidit à cause de la présence d'aérosols de sulfate, dont les tendances restent incertaines.

Le résultat de ces changements est une altération de beaucoup des variables fondamentales qui définissent les paysages existants, notamment :

1. Les températures qui, à la hausse, se traduiront par des hivers plus cléments, une augmentation du nombre de degrés-jours durant la saison de croissance, une augmentation de l'évapotranspiration, une diminution de la couche de glace sur les lacs, les cours d'eau et les océans, un rétrécissement des zones de pergélisol, une diminution de l'épaisseur du manteau neigeux et des écoulements printaniers qui l'accompagnent.
2. Les précipitations, qui seront généralement plus abondantes et probablement plus variables, et qui tomberont moins sous forme de neige.
3. L'élévation régulière du niveau de la mer, qui aura pour effet d'inonder les basses terres et d'accentuer l'érosion du littoral.
4. Les variations interdépendantes de températures et de précipitations, dont l'interaction aura pour effet de réduire les niveaux et les débits d'eau l'été, de modifier le bilan hydrique des milieux humides, de rallonger le temps de renouvellement de l'eau dans les lacs, de menacer les milieux humides saisonniers et semi-permanents, de réduire l'habitat des poissons d'eaux froides et de modifier la température de la mer en surface et sa salinité. Il se peut que les étés soient localement plus humides, mais l'augmentation de l'évapotranspiration entraînera généralement une baisse du volume d'eau disponible, une diminution de l'humidité du sol et une augmentation de la demande d'eau.
5. L'augmentation du nombre et de la gravité des phénomènes extrêmes aura pour effet de déstabiliser les paysages et les écosystèmes actuels.

IMPACTS SUR LES PAYSAGES

Comme on peut le lire dans les chapitres et les volumes de l'ÉPC, la majorité des grands changements paysagers sont gouvernés par les forces suivantes :

- Migration des aires de répartition et altération des écozones;
- Modification et variabilité accrue de l'hydrologie;
- Fonte du pergélisol et autres impacts sur la cryosphère;
- Élévation du niveau de la mer.

Migration des aires de répartition et altération des écozones

Pratiquement tous les chapitres de l'ÉPC décrivent la façon dont le changement climatique prévu entraînera des migrations géographiques dans les aires de répartition des espèces, les limites des écosystèmes et l'emplacement des activités et des intérêts socio-économiques. Les plus spectaculaires seront sans doute les migrations des écozones canadiennes. Le modèle de biome du MAPSS (Mapped Atmosphere-Plant-Soil System) du Forest Service de l'USDA décrit la distribution de la végétation sous un climat où les concentrations de CO₂ auront doublé (Neilson, 1995; VEMAP Members, 1995). Ce modèle associe les sorties des MCG à un modèle complexe de la végétation et aux divers facteurs qui influent sur sa distribution. Tenu en très haute estime dans la littérature, ce modèle et les cartes de végétation qu'il produit sont largement utilisés dans les évaluations du GIEC sur les impacts du changement climatique. Basés sur les anciens MCG à l'équilibre 2xCO₂ du premier rapport d'évaluation du GIEC, les résultats de 1995 indiquent que les implications pour le Canada seraient la disparition de l'écozone du sud de l'Arctique de la masse continentale et la migration vers le nord des ceintures de la taïga et de la forêt boréale, d'environ 500 km. Les migrations d'autres types de végétation sont également illustrées, même si le résultat exact varie en fonction du MCG utilisé. Les résultats plus récents qui utilisent les modèles aux états transitoires confirment ces conclusions antérieures et constituent la base du rapport du GIEC sur les impacts régionaux du changement climatique, rapport auquel on met actuellement la dernière touche.

Ce qu'il faut bien comprendre, c'est que cela représente la végétation à l'équilibre qui serait soutenue sous ce climat moyenné. Pour que cela se produise, le climat doit rester relativement constant tandis que les espèces migrent vers de nouvelles latitudes. Comme nous l'avons déjà vu, rien ne permet de penser que l'augmentation des concentrations de CO₂ dans l'atmosphère s'arrêtera lorsque celles-ci auront doublé ou même triplé par rapport aux niveaux actuels, pas plus qu'on ne peut supposer que les taux de migration suivront le même rythme que le changement climatique. Les estimations de la migration des essences forestières reposent essentiellement sur les réponses, tirées des études palynologiques, de la végétation aux changements climatiques depuis 10 000 ans. On constate que les taux varient selon les espèces et sont de l'ordre de 10 à 200 km par siècle (Davis et Botkin, 1985; Gear et Huntley, 1991). Ces taux ne sont peut-être pas maximaux, mais conditionnés par la vitesse du changement climatique qui les a induits. En revanche, les migrations passées n'ont jamais été entravées par les nombreux obstacles érigés par l'activité humaine, notamment la fragmentation des paysages par les terres agricoles, l'urbanisation

et les infrastructures. Il est peu probable que les essences forestières puissent maintenir des taux de migration de 150 à 550 km par siècle, comme l'exigerait le climat prévu (Kirschbaum et Fischlin, 1996). Cela n'est pas sans répercussions manifestes :

- La disparition de la végétation, et donc de la faune, des attributs et des avantages socio-économiques qui l'accompagnent, car le dépérissement surviendra beaucoup plus rapidement que l'implantation au même endroit d'une nouvelle végétation ressemblant à l'une quelconque de nos actuelles communautés biotiques.
- L'utilisation des sorties des MCG ne tient pas compte des impacts de l'augmentation du nombre et de la gravité des phénomènes extrêmes. Ceux-ci ont toutes les chances d'accélérer le dépérissement des essences, même s'ils peuvent en faciliter la migration.
- La végétation parviendra à peine à l'équilibre par rapport au climat local lorsque le changement climatique se sera stabilisé ou aura ralenti.

Tout porte à croire que, dans les conditions prévues, ce ne sera pas la taïga ou la forêt boréale telles que nous les connaissons qui migreront vers le nord, mais plutôt les essences adaptables à déplacement plus rapide, comme celles dont les graines se disséminent plus loin, et qui ont une croissance plus rapide et une maturation plus précoce. La végétation a donc toutes les chances de ressembler aux premiers stades de succession avec des avantages pour certaines espèces sauvages, des attributs désirés et des retombées socio-économiques, mais pas pour d'autres. Par exemple, les cerfs et autres brouteurs de même que les rapaces seront probablement plus nombreux, ce qui présente des avantages pour les chasseurs et les observateurs d'oiseaux, alors que l'habitat des espèces de forêt dense sera sérieusement amputé.

La migration des aires de répartition et des écozones aura aussi des impacts sur l'activité économique. Les endroits qui se prêtent le mieux à l'implantation d'installations et d'entreprises migreront par rapport aux distributions actuelles à cause du changement climatique. Il y aura donc des gagnants et des perdants, même si un secteur d'activité dans son ensemble peut en sortir gagnant.

L'industrie du tourisme et des loisirs de plein air risque d'être profondément touchée, l'allongement de la saison des loisirs de temps chaud ouvrant de nombreuses possibilités à l'industrie, tandis que les activités hivernales subiront les contrecoups d'une saison plus courte, surtout aux latitudes les plus au sud. Par exemple, les conditions propices au ski devenant moins fiables, les stations existantes devront recourir de plus en plus à la fabrication de neige artificielle pour rester ouvertes.

Bien que le changement climatique touchera l'industrie canadienne des loisirs et du tourisme, celle-ci est capable de s'y adapter en déplaçant ses infrastructures, en appliquant et en améliorant sa technologie et en aménageant des centres récréatifs toutes saisons. Toutes ces solutions sont déjà adoptées à l'heure actuelle à divers degrés.

Modification et variabilité de l'hydrologie

Les volumes régionaux et le chapitre sur les ressources hydriques soulignent l'importance critique de l'eau douce pour évaluer les impacts du changement climatique sur les écosystèmes. La tendance prévisible est une baisse générale du volume d'eau disponible et une plus grande variabilité des niveaux et des débits.

On ne saurait trop insister sur les conséquences des changements prévus au chapitre de l'hydrologie pour la structure et le fonctionnement des écosystèmes canadiens, notamment de tous leurs éléments environnementaux, sociaux et économiques. L'eau disponible est un facteur fondamental qui définit le modelé et les processus des paysages de même que la géographie économique et sociale qui en découle. Une grande partie des industries, du milieu bâti et des réseaux de transport et de distribution actuels ne sont pas particulièrement résistants face à des changements du type et de l'ampleur que l'on prévoit, surtout s'ils sont déstabilisés par des phénomènes extrêmes plus nombreux et plus graves. Leur survie est donc menacée.

Parmi les autres éléments notés ailleurs dans l'ÉPC qui ont un impact sur les paysages :

- Les lacs et les cours d'eau du Canada subiront probablement des perturbations profondes, dont la nature et l'étendue exactes varieront selon la région. Il se peut que les débits et les niveaux changent en moyenne, d'une saison ou d'une année à l'autre, et qu'il y ait une augmentation de la variabilité et de la probabilité de phénomènes extrêmes. Cela aura pour effet de nuire à l'intégrité des écosystèmes en plus de limiter certaines activités, comme les transports, la production d'électricité, la qualité et la quantité d'eau potable, la dilution des déchets, la baignade, la pêche et les loisirs de contact.
- La diminution de l'épaisseur du manteau neigeux aura pour effet de réduire les crues printanières et donc la recharge des milieux humides, des deltas, des réserves d'eau potable, des étangs de retenue et des milieux riverains. Les habitats des écosystèmes aquatiques diminueront de volume et de superficie. Pour les zones relativement arides des Prairies, M. Raoul Granger, de l'Institut national de recherche en hydrologie (INRH), a démontré comment cette situation risque d'être accentuée par la réduction des crues printanières résultant de l'écoulement sur des sols non gelés (Pomeroy, 1997).
- La disponibilité de l'eau pour la dilution des sources ponctuelles sera moins régulière, ce qui entraînera à l'occasion de fortes concentrations de contaminants et une eutrophisation apparente, qui exigeront un certain ajustement des protocoles de rejet. On peut s'attendre à ce que les eaux peu profondes se « réchauffent » de manière appréciable, ce qui aura des conséquences sur la dynamique de la chaîne alimentaire, les populations et la diversité des espèces. La baisse des débits d'été risque d'entraîner la croissance des mauvaises herbes, de tuer les poissons et de limiter les utilisations à cause de problèmes de goût et d'odeur.
- Les plus graves conséquences sur les milieux humides risquent de survenir dans la région des cuvettes des Prairies. Occupant des dépressions dans un paysage de climat sec avec des petits bassins versants, les cuvettes des Prairies sont éminemment vulnérables au manque d'humidité

résultant de l'amincissement du manteau neigeux et de la baisse des apports d'eau printaniers qui l'accompagne, des sécheresses et de l'accroissement de la variabilité climatique. Déjà mise à rude épreuve par des pertes qui se chiffrent à 71 % au Canada (Environnement Canada 1986, 1988) et entre 50 et 60 % aux États-Unis (Leitch, 1981), cette zone est encore considérée comme l'un des milieux humides les plus importants du monde (Weller, 1981), puisqu'elle contribue chaque année pour 50 à 75 % à la production de sauvagine en Amérique du Nord (Leitch et Danielson, 1979). Les tendances de l'abondance des canards reflètent déjà les interactions entre la transformation des régimes d'humidité et les altérations du paysage (Bethke et Nudds, 1995). Tout nouveau stress sera éminemment préoccupant et il ne sera possible d'y faire face que par de vigoureux programmes visant à protéger, à améliorer et à accroître les milieux humides dans cette région.

- Les variations de température pourront modifier la structure des lacs et multiplier les risques d'anoxie hypolimnique. Les espèces d'eaux froides très prisées comme les salmonidés pâtiront d'une diminution de leurs habitats et de leurs sources de nourriture. Les cycles biogéochimiques, les relations prédateurs-proies et les réseaux trophiques actuels seront déstabilisés. Les nouvelles conditions de débit et d'écoulement entraîneront une altération de la concentration des principaux ions, éléments nutritifs, contaminants et solides en suspension, ainsi que du carbone organique dissous.
- Dans les Grands Lacs et ailleurs, les changements et les variations du niveau d'eau menaceront de précieux habitats des rives et des milieux humides et toucheront les pêches tant récréatives que commerciales, et les habitats des espèces sauvages. Les propriétés et les infrastructures riveraines (quais, jetées, conduites, brise-lames, etc.) et les voies de navigation seront touchées.
- Au nombre des impacts socio-économiques, il y en aura sur le tourisme, les loisirs, la valeur des propriétés, les transports, la production d'énergie, les pêches, le traitement des effluents et de l'eau potable, le dragage des chenaux, le remplissage des étangs de retenue et l'eau disponible localement pour l'agriculture, l'industrie et les zones urbaines.

Sans descriptions régionales détaillées du changement climatique attendu, il est impossible de prévoir les conséquences et les coûts locaux ou de recenser les possibilités de modifier ou d'atténuer les effets locaux. Tous ces impacts risquent de se produire à un degré quelconque dans n'importe quelle région du Canada. Le fait que les éléments socio-économiques des paysages risquent d'être particulièrement touchés incite à croire qu'il est prioritaire de déterminer les occasions les plus rentables d'accroître le potentiel de résister à des variations accrues.

Fonte du pergélisol et autres impacts sur la cryosphère

Comme le décrit entre autres la section de l'ÉPC sur le Nord, la fonte du pergélisol dans de vastes secteurs du Canada aura de profonds impacts sur les paysages nordiques sans qu'il soit réellement possible d'en minimiser les conséquences.

La migration prévue des zones de pergélisol vers le nord est estimée à environ 500 km pour un climat à double concentration de CO₂ (Prowse, 1997; Anisimov et Nelson, 1995; Fitzharris, 1996). La situation aura de profonds impacts sur ces régions, comme l'a résumé Prowse (1997). La fonte de vastes étendues de glace souterraine provoquera des glissements de terrain massifs et augmentera les charges de sédiments dans les cours d'eau et les lacs. Un mollisol plus profond réduira les écoulements superficiels à mesure qu'augmenteront les infiltrations et la capacité de stockage. Les tourbières devraient disparaître au sud du 60° degré de latitude Nord dans le bassin du Mackenzie, même s'il se peut qu'elles augmentent plus au nord (Cohen, S.J., 1997), tandis que les milieux humides arctiques épars qui sont actuellement maintenus par les écoulements de surface ne survivront pas. Les tourbières et les milieux humides deviendront des sources de carbone atmosphérique plutôt que des puits (Oquist et Svensson, 1996). Les lacs et les étangs qui ont une stratification hydrologique liée au pergélisol ont plus de chances de se drainer latéralement ou dans la nappe phréatique.

L'altération des paysages à cette échelle est lourde de conséquences pour l'hydrologie, les espèces sauvages, la biodiversité, les valeurs culturelles et les modes de vie. Les impacts se feront sans doute sentir jusque dans les infrastructures et les transports, touchant notamment l'intégrité des fondations (pipelines, ponts et édifices), les installations de régularisation des eaux, les routes de glace et la fonte du pergélisol présumément imperméable des étangs de résidus miniers. La modification des régimes des inondations et des charges en sédiments aura des impacts profonds sur des habitats de milieux humides d'importance internationale, comme ceux du delta Paix-Athabasca-Esclaves, du delta du Mackenzie et des terres basses de la baie d'Hudson et du golfe de la Reine-Maud.

Les basses terres du golfe de la Reine-Maud, où vivent les Inuits du Canada, font partie de l'écozone du Bas-Arctique, zone de transition entre la forêt de la taïga au sud et la toundra arctique sans arbres au nord, qui englobe les principales aires d'estivage et de mise bas des plus grands troupeaux de caribous du Canada et constitue l'habitat de l'ours, du loup, de l'orignal, du spermophile arctique et du lemming. C'est également une importante aire de reproduction et de nidification de divers oiseaux migrateurs dont le plongeon arctique, le plongeon à bec blanc et le plongeon catmarin, le cygne siffleur, l'oie des neiges, le lagopède alpin et le harfang des neiges (Groupe de travail sur la stratification écologique, 1996). Selon le modèle de biome du MAPSS, l'écozone du sud de l'Arctique disparaîtra virtuellement du continent nord-américain sous un climat où les concentrations de CO₂ seraient doubles (Neilson, 1995, VEMAP Members, 1995). Il semble qu'il n'y ait pas grand-chose à faire pour minimiser les impacts de ces changements sur les espèces sauvages, la biodiversité et la culture, ou pour s'y adapter.

Parmi les autres impacts subis par la cryosphère et entraînant la modification des paysages qui sont décrits dans les chapitres de l'ÉPC figurent le retrait des glaciers alpins, la diminution du manteau neigeux, l'allongement des périodes sans glace dans les lacs et une modification des risques d'inondations dues aux embâcles :

- On constate une tendance soutenue au recul des glaciers dans les Rocheuses canadiennes et dans le monde entier. Au Canada, il s'ensuivra à terme une diminution des débits de fin de saison en Colombie-Britannique et en Alberta, ce qui menacera les approvisionnements en

eau dans les petites localités, l'irrigation et les habitats du poisson, de même que la viabilité de l'industrie du bétail de l'Alberta.

- Le réchauffement aura un effet sur l'étendue, la durée et l'épaisseur du manteau neigeux au Canada, avec une baisse possible de 40 % de sa persistance dans les Prairies canadiennes. La distribution saisonnière du débit des cours d'eau et des approvisionnements en eau sera modifiée et aura des conséquences néfastes sur l'hydro-électricité, la vie aquatique et l'agriculture.
- Dans les provinces de l'Atlantique, le sud de l'Ontario et les régions nordiques qui sont vulnérables aux crues printanières, les variations des régimes pluviométriques de fin d'hiver et de début de printemps pourraient modifier la fréquence des embâcles et des inondations. Les dégâts occasionnés par ces phénomènes sont actuellement évalués à 60 millions de dollars par an au Canada, même si les inondations causées par les embâcles font partie intégrante de l'écologie des zones riveraines, et que les deltas et les milieux humides du nord sont particulièrement tributaires des recharges périodiques en eau qui en résultent. Selon les conditions particulières de changement climatique, des régions où les embâcles sont aujourd'hui rares risquent de connaître une augmentation de la fréquence et/ou de la gravité de ces phénomènes, alors que celles où ils sont courants pourraient en voir moins. Il est probable que les zones les plus vulnérables se trouvent dans les régions modérément froides où il pourrait commencer à y avoir des débâcles au milieu de l'hiver.

Élévation du niveau de la mer

Les volumes de l'ÉPC consacrés aux régions côtières décrivent l'élévation prévue du niveau de la mer qui accompagnera les changements de température à l'échelle planétaire. Les réserves naturelles et les paysages économiques côtiers seront profondément touchés, car l'élévation du niveau de la mer et les ondes de tempête entraîneront l'érosion du littoral, la redistribution des sédiments, la disparition d'habitats, la salinisation des approvisionnements en eau et l'aggravation des inondations côtières.

De nombreux milieux humides côtiers et plages seront pris en étau entre la mer qui se rapprochera et les ouvrages de génie, comme des digues, qui deviendront plus courants puisque l'on voudra protéger les propriétés riveraines. L'entretien des plages existantes coûtera plus cher. Dans bien des régions, les aménagements empêcheront la migration ou la création de milieux humides qui résulteraient autrement de l'inondation progressive des zones qui sont aujourd'hui à peine au-dessus du niveau de l'eau. La disparition de milieux humides côtiers aura des conséquences sur les pêches et les espèces sauvages, de même que sur la charge en éléments nutritifs des eaux côtières.

L'élévation du niveau de la mer permet à l'eau salée de pénétrer plus loin dans les terres et de remonter dans les rivières, les baies, les zones humides et les aquifères. L'intrusion d'eau salée dans les eaux de surface serait préjudiciable à certaines espèces aquatiques en plus de menacer l'utilisation de l'eau par l'homme. Son entrée dans les aquifères aura des répercussions sur les puits et fera baisser la productivité agricole des terres basses, à cause de la salinisation des sols. Le

niveau de la nappe phréatique montera, entraînant une hausse des coûts de pompage pour l'entretien des infrastructures.

Les inondations causées par les ondes de tempête, l'eau passant par-dessus les digues, l'accroissement de l'érosion et la redistribution des sédiments feront grimper les coûts de protection et d'entretien des infrastructures côtières comme les maisons, les routes, les chemins de fer, les systèmes d'égouts, les quais et les installations portuaires. La diminution de l'étendue et de la durée des glaces marines augmentera le fetch d'eau libre et l'érosion du littoral provoquée par les vagues durant les tempêtes hivernales.

Les grands deltas du Canada comme ceux du Fraser et du Mackenzie sont particulièrement vulnérables à l'élévation du niveau de la mer et à ses conséquences sur la durabilité de l'écosystème deltaïque. Parmi les zones côtières vulnérables dans la région de l'Atlantique figurent les marais salés de la baie de Fundy et les étroites îles-barrières et flèches de la côte néo-brunswickoise du golfe du Saint-Laurent, qui protègent d'importantes zones récréatives sur la terre ferme ainsi que des marais d'eau douce et des boisés écologiquement sensibles. Dans l'Île-du-Prince-Édouard, les barrières de sable, les dunes côtières, les marais salés et les battures intertidales sont très menacés par l'érosion. L'érosion accrue des plages menacera directement l'industrie touristique de l'Île-du-Prince-Édouard ainsi que les constructions, les routes et les systèmes d'égout en bordure du littoral. Certaines des propriétés les plus chères du centre-ville de Charlottetown et des parties importantes de son système d'égouts semblent particulièrement menacées.

D'innombrables autres localités côtières, dont Placentia (T.-N.) et la vallée du bas Fraser (C.-B.) sont vulnérables aux inondations ou aux ondes de tempête. Même si de nombreuses zones côtières sont actuellement protégées par des digues et des ouvrages longitudinaux de défense des côtes, ces ouvrages ont été conçus en fonction du niveau actuel de la mer; des ondes de tempête plus hautes pourraient passer par-dessus, et l'érosion les miner par en-dessous.

Les mesures possibles de réponse à l'élévation du niveau de la mer tombent dans trois grandes catégories : ériger des digues pour contenir la mer; surélever les terres pour compenser la hausse du niveau; et laisser la mer avancer et s'y adapter. Chacune présente des avantages et des inconvénients.

La construction d'ouvrages protège effectivement les propriétés contre l'élévation du niveau de l'eau, mais la disparition de paysages côtiers naturels qui en résultera risque de nuire à l'environnement, aux loisirs et à l'esthétique de la région. On a déjà vu disparaître des milieux humides et des habitats d'eaux peu profondes parce que les ouvrages érigés ont empêché ces systèmes de migrer vers l'intérieur des terres.

L'élévation du niveau des terres est une mesure onéreuse et sans fin. Il se pourrait cependant que des analyses coûts-avantages à long terme faisant intervenir la valeur des propriétés et les coûts de protection du rivage, ainsi que les facteurs environnementaux et esthétiques, justifient parfois ce genre de mesure.

L'économie semble privilégier les mesures de planification qui, chaque fois que cela est possible, permettent au littoral de conserver essentiellement son état naturel à mesure que s'élève le niveau de la mer, au lieu d'être remplacé par des ouvrages de protection. Ces mesures semblent surtout convenir aux régions qui ne sont pas encore aménagées, et appartiennent essentiellement à deux grandes catégories : 1) les marges de recul, soit les réglementations qui empêchent le développement des régions qui risquent d'être inondées; et 2) les servitudes en continu, qui autorisent le développement aujourd'hui, mais à la condition explicite de ne pas protéger la propriété contre l'élévation du niveau de la mer (Titus, 1997).

Plusieurs évaluations nationales ont été réalisées au États-Unis sur la disparition possible de milieux humides et secs et sur les coûts de retenue de la mer, sachant que l'impact de l'élévation du niveau de la mer dépend en définitive de la façon dont cela se fait. Si l'on présume que seront adoptées d'autres politiques visant à protéger les terres côtières, les estimations relatives au coût cumulé d'une élévation de 50 cm du niveau de la mer jusqu'à l'an 2100, aux États-Unis, se situent entre 20 et 200 milliards de dollars (Titus *et al.*, 1991).

LACUNES ET DÉFIS EN MATIÈRE DE CONNAISSANCES

Le résumé et l'analyse des résultats de l'ÉPC qui décrivent les changements subis par les paysages révèlent un certain nombre de lacunes et de difficultés qui limitent l'analyse ou l'application des résultats. Parmi ces lacunes et difficultés :

- Incapacité d'attribuer des valeurs aux écosystèmes et à leurs caractéristiques, ce qui en faciliterait l'examen pour la prise de décisions.
- Absence de scénarios régionaux crédibles du changement climatique au cours des prochaines décennies, ce qui limite sérieusement la capacité d'évaluer les impacts, de définir les possibilités, de minimiser les impacts ou d'évaluer les avantages des mesures d'adaptation.
- Besoin de recherches spécialisées sur la réponse des paysages et des écosystèmes aux modalités probables du changement climatique, comme la réponse des milieux humides aux nouvelles hydropériodes, les modes de succession dans les écotones de la forêt boréale et de la toundra, les réponses du paysage à l'altération du pergélisol, les impacts des modifications de l'hydrologie du Nord, les liens avec d'autres problèmes atmosphériques et les réponses des écosystèmes à des conditions de stress multiples.
- Absence de mécanismes d'intégration pour prévoir les impacts et planifier ou mettre en oeuvre les réponses adéquates dans les secteurs mettant en jeu plusieurs instances et/ou disciplines et qui semblent prendre de l'importance, comme :
 - la gestion de l'eau en situation de rareté et d'intérêts concurrentiels;
 - la vulnérabilité des barrages et de la gestion par bassins aux changements de l'hydrologie
 - la protection contre l'élévation du niveau de la mer ou l'adaptation à ce phénomène;

- les stratégies visant à accroître la résilience des industries, des zones urbaines et des infrastructures vulnérables;
- la protection accrue, là où cela est possible, d'habitats précieux et vulnérables comme les milieux humides des Prairies et du Nord, les secteurs du littoral, les habitats des poissons d'eaux froides, les grandes étendues de forêt boréale et de taïga dans la partie centrale nord de leurs aires de répartition, etc.

CONCLUSIONS

Les chapitres régionaux et sectoriels de l'ÉPC répertorient un certain nombre de secteurs où il est possible de prévoir les impacts du changement climatique sur le paysage. Même si certains de ces impacts peuvent être positifs, la plupart seront négatifs, généralisés et durables. Ces impacts présentent donc de sérieux risques pour le bien-être des Canadiens et il faudrait s'attacher à les minimiser. C'est pourquoi on recommande :

- de procéder activement à l'évaluation précise et à la communication de ces risques;
- d'accélérer la détermination et l'application des options de moindre coût pour mieux permettre aux écosystèmes connexes (y compris à leurs éléments environnementaux, sociaux et économiques) de s'adapter à cette variabilité;
- d'accorder tout le sérieux voulu aux possibilités définies dans l'ÉPC pour s'adapter à ces impacts potentiels et à d'autres impacts éventuels du changement climatique;
- de prendre dûment en considération la nature et la gravité de ces risques dans l'élaboration de stratégies nationales sur les émissions de gaz à effet de serre.

RÉFÉRENCES

Anisimov, O. A. and F.E., Nelson (1995), Permafrost distribution in the Northern Hemisphere under scenarios of climatic change, *Global and Planetary Change*.

Betke, R. W. and T.D., Nudds (1995), Effects of climate change and land use on Duck abundance in Canadian prairie-parklands, *Ecological Applications*, Vol. 5(3), p. 588-600.

Cohen, S. J. (ed), (1997), Mackenzie Basin Impact Study (MBIS) Final Report, Environment Canada, Downsview, Ont., 372 p.

Davis, M.B. and D.B., Botkin (1985), Sensitivity of cool-temperate forests and their fossil pollen record to rapid temperature change, *Quaternary Research*, Vol. 23, p. 327-340.

Deevy, E. S. (1973), communication personnelle.

Environment Canada (1986), Wetlands in Canada: A Valuable Ressource, Lands Directorate Fact Sheet 86-4, Ottawa.

Environment Canada (1986), Wetlands of Canada, Ecological Land Classification Series 24, Ottawa.

Fitzharris, B. B. (1996), The cryosphere: changes and their impacts, Chapter 7 in *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II of the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, p. 241-266.

Gear, A.J. and B., Huntley (1991), Rapid change in the range limits of Scots pine 4,000 years ago, *Science*, Vol. 251, p. 544-547.

Groupe de travail sur la stratification écologique (1996), *Cadre écologique national pour le Canada*, Approvisionnements et Services Canada, Ottawa, Ont., 144 p.

Kirschbaum, M.U.F. and Fischlin A. (1996), Climate Change Impacts on Forests, Chapter 1 in *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses, Contribution of Working Group II of the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, p. 95-129.

Leitch, J. A. (1981), The wetlands and drainage controversy-revisited, *Minnesota Agricultural Economist*, Vol. 26, University of Minnesota, St. Paul, 5 p.

Leitch, J. A. and L.E., Danielson (1979), Social, Economic and Institutional Incentives To Drain or Preserve Prairie Wetlands, Dept. of Agriculture and Applied Economics, University of Minnesota, St. Paul, 78 p.

Neilson, R.P. (1995), A model for predicting continental scale vegetation distribution and water balance, *Ecological Applications*, Vol. 5, p. 362-385.

Oquist, M. G. And B.H., Svensson (1996), Non-Tidal Wetlands, Chapter 6 in *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*, Contribution of Working Group II of the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, p. 215-240.

Pomeroy, J. (1997), in *Ecosystem Effects of Atmospheric Change: Proceedings of a Colloquium*, March 5-6, 1996, Pointe-Claire, Qué. National Water Research Institute, Environment Canada, Burlington, Ont.

Prowse, T.D. (1997), Climate change effects on permafrost, freshwater ice and glaciers, in *Ecosystem Effects of Atmospheric Change: Proceedings of a Meeting*, March 5-6, 1996, Pointe-Claire, Qué. National Water Research Institute, Environment Canada, Burlington, Ont.

Titus, J.G. (1997). Rising seas, coastal erosion and the takings clause: how to save wetlands and beaches without hurting property owners, *South Carolina Law Review* (sous presse).

Titus, J.G., R.A., Park, S. Leatherman, R. Weggel, M.S. Greene, M. Treehan, S. Brown, C. Gaunt and G. Yohe (1991), Greenhouse effect and sea level rise: the cost of holding back the sea, *Coastal Management*, Vol. 19, p. 171-204.

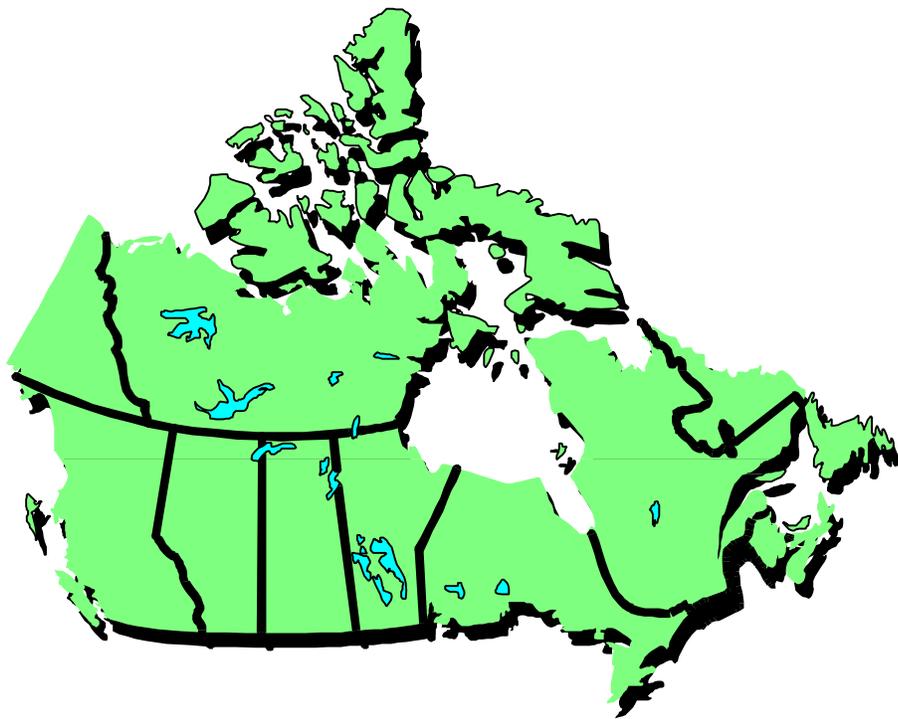
VEMAP Members (1995), Vegetation/ecosystem modeling and analysis project: Comparing biogeography and biogeochemistry models in a continental-scale study of terrestrial ecosystem responses to climate change and CO₂ doubling, *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 9, p. 407-437.

Weller, M. W. (1981), *Freshwater Marshes*, University of Minnesota Press, Minneapolis, Minn., 146 p.

CHAPITRE SEPT

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE : FUSIONNEMENT NÉCESSAIRE DES RECHERCHES PARALLÈLES

Stewart Cohen¹, David Demeritt², John Robinson³, Dale Rothman⁴



1. Groupe de recherche sur l'adaptation environnementale, Environnement Canada, Institut de recherche sur le développement durable, Université de la Colombie-Britannique, 2202 Main Mall, Vancouver, Colombie-Britannique V6T 1Z4. Téléphone : (604) 822-1635, télécopieur : (604) 822-9191, courriel : stewart.cohen@ec.gc.ca
2. Department of Geography, University of Bristol, University Road, Bristol, England BS8 1SS. Téléphone : 44 117 928 9829, télécopieur : 44 117 928 7878, courriel : d.demeritt@bristol.ac.uk
3. Institut de recherche sur le développement durable, Université de la Colombie-Britannique, 2202 Main Mall, Vancouver, Colombie-Britannique V6T 1Z4. Téléphone : (604) 822-8198, télécopieur : (604) 822-9191, courriel : johnr@sdri.ubc.ca
4. Biosphere 2 Center, Columbia University, 32540 South Biosphere Road, Oracle, Arizona 85623. Téléphone : (520) 896-6420, télécopieur : (520) 896-6361, courriel : daler@bio2.edu

RÉSUMÉ ET RECOMMANDATIONS

Les conséquences de la séparation continue des écoles de pensée sur le changement climatique et le développement durable sont étudiées, dans un contexte général et dans le contexte canadien. Une des conséquences en est la différence dans les scénarios d'émissions et de développement économique générés par les deux groupes. Une autre est que les stratégies visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre sont conçues et évaluées dans un cadre technique étroit, dissociées des forces économiques et sociales qui le sous-tendent. Nous mettons en lumière la nécessité d'intégrer ces sujets d'une manière réciproque et plus explicite dans les recherches portant sur l'un ou l'autre sujet et d'incorporer, pour l'évaluation intégrée du changement climatique, des méthodologies de rechange qui complètent les modèles d'évaluation intégrée à l'échelle mondiale. Ces méthodologies devraient comprendre une plus grande participation des intervenants à titre de partenaires des chercheurs, dans une expérience d'apprentissage commune.

LE PROBLÈME

Dans une communication qui porte à réfléchir, Newby (1993) a avancé que les tentatives récentes en vue d'élaborer un programme international sur les dimensions humaines du changement planétaire sont tombées dans ce que l'on appelle « l'illusion du GIEC ». C'est la tendance, illustrée par le premier et le deuxième rapport d'évaluation du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat, le GIEC, de traiter des dimensions humaines et sociales du changement mondial en attachant une certaine analyse de science sociale, virtuellement comme une appendice, à des travaux qui définissent le problème dans un cadre de sciences naturelles. La contribution des sciences sociales (les humanités sont rarement invoquées) est d'analyser les « lignes de force », les « impacts » et les « capacités adaptatives » correspondant au phénomène du changement climatique mondial, dans une optique nettement détachée de leur contexte social.

Dans sa communication, Newby met au jour la différence importante d'aborder les problèmes environnementaux parmi les différents groupes et personnes qui étudient le changement environnemental planétaire. En particulier, il souligne la différence entre une optique axée sur les sciences naturelles, qui définit les problèmes en termes de flux physiques de matière et d'énergie, et celle axée sur les sciences sociales, qui tend à les définir en termes de comportement humain. Chacune apporte ses propres définitions des problèmes, types de méthodes, normes de validation et de crédibilité, ainsi que ses définitions des concepts clés comme les données, les essais, les modèles, etc.

Bien entendu, cette description simplifie à l'extrême le tableau d'ensemble. Les rapports entre les divers domaines et disciplines en jeu dans l'étude du changement planétaire sont caractérisés par une grande complexité et des divergences de concept et de méthodologie dans ces domaines et disciplines¹. Néanmoins, la vaste distinction esquissée ici se retrouve dans les produits, les actes et les débats des deux programmes internationaux de recherche dans le domaine du changement mondial : le Programme international géosphère-biosphère (PIGB) et le nouveau Programme international des dimensions humaines (PIDH). Même leurs affiliations institutionnelles reflètent

¹ Pour une opinion légèrement plus nuancée sur ces rapports que celle présentée ici, voir Robinson et Timmermann (1993).

cette distinction. Le PIGB a été établi par les unions membres du Conseil international des unions scientifiques (CIUS) et le PIDH, que l'on appelait auparavant le Programme des dimensions humaines du changement global (PHCG), était coparrainé par le Conseil international des sciences sociales.

Nous avançons ici que la distinction entre ces deux manières d'aborder les problèmes environnementaux explique le manque, qui serait sinon étrange, d'interaction entre ces deux champs de recherche et d'activités, associés respectivement avec le changement climatique (CC) et le développement durable (DD). Nous désirons décrire ces deux différentes façons de considérer le changement environnemental mondial et de suggérer un moyen de les reformuler pour qu'elles soient plus fructueuses.

Même si le changement climatique est l'un des symptômes les plus importants du manque de « durabilité », il faut remarquer que la discussion du CC a très peu influé sur celle du DD et vice versa. La collectivité des chercheurs sur le DD n'a généralement pas envisagé comment les incidences d'un climat en évolution peuvent influencer sur les efforts visant à rendre les sociétés plus durables. Le réchauffement de la planète est reconnu comme un problème, mais on le laisse souvent de côté afin de pousser les gouvernements vers des interventions politiques spécifiques (p. ex., réduire la consommation d'énergie et de matériaux, résoudre les disparités Nord-Sud, etc.). De même, le concept de DD et les arguments méthodologiques et indépendants qui lui sont associés sont manifestement absents de la littérature sur le CC. On en a eu un exemple frappant avec le troisième volume du deuxième rapport d'évaluation du GIEC. Même si le GT III avait été prié à son assemblée plénière de se pencher sur les questions du développement durable, les discussions du DD sont à peu près inexistantes dans le rapport.

Cela est dû, d'après nous, aux optiques divergentes à l'égard des sciences, de la politique et des pratiques liées aux écoles de pensée et cultures de recherche différentes du CC et du DD. Même si le réductionnisme de la méthode dominante du CC fondée sur les sciences naturelles a amené à le considérer comme un problème environnemental pouvant être analysé scientifiquement, cette formulation s'est montrée peu utile pour élaborer des réponses de politiques, car elle ignore les dimensions humaines du problème et aussi les politiques difficiles et différentes selon les régions pour y répondre. En conséquence de ce détachement politique, les questions posées par la science du CC ne se sont pas révélées très pertinentes à la prise de décisions politiques, même si l'on voulait rendre telle la science. Même au cours des réunions qui ont mené au Protocole de Kyoto, la rhétorique du débat sur la science du changement climatique était souvent reléguée à l'ombre des discussions d'ordre économique. Au contraire, la manière de voir DD axée sur l'homme envers les problèmes environnementaux est plus sensible sur les plans politique et géographique, mais elle est vague du point de vue analytique, ce qui la rend difficile à définir ou, à mettre en pratique, et donc tentante pour ceux qui cherchent à revêtir leurs activités du vert manteau de la durabilité (Eden, 1994).

En réponse à ces défis, nous soutenons que la solution n'est pas de subordonner une démarche à l'autre, mais bien de les reformuler tout en reconnaissant la complémentarité de leurs forces pour aborder les problèmes environnementaux. Nous sommes d'accord avec Rayner et Malone (1998),

qui préconisent un partenariat plus étroit entre les sciences naturelles et sociales, les humanités et l'expertise des intervenants dans la prise de décisions.

LES DEUX ÉCOLES DE PENSÉE

De prime abord, il semble étrange de suggérer que le CC et le DD représentent deux moyens fort différents de penser aux problèmes environnementaux du monde. Les deux concepts ont pour base les impacts humains sur l'environnement, particulièrement les dimensions mondiales des problèmes environnementaux. Qui plus est, le CC et le DD sont des expressions qui sont devenues très populaires à la fin des années 1980. Dans le cas du CC, une conférence importante, tenue en 1988 (WMO, 1988), a porté ce problème à l'attention des décideurs d'une manière qu'il a été difficile d'ignorer et qui a suscité toute une série d'activités scientifiques et politiques ultérieures. Dans le cas du DD, le concept a attiré l'attention de la population à cause des activités de la Commission mondiale de l'environnement et du développement (CMED) et de la publication de son rapport, *Notre avenir à tous*, en 1987. Certainement, le CC est l'un des grands problèmes du DD cités dans le rapport Brundtland et dans d'autres documents, tandis que la question du DD a fait partie du mandat du deuxième rapport d'évaluation du GIEC.

Malgré ces similitudes, il existe des différences majeures dans la façon dont ces deux concepts ont évolué, tant du point de vue des questions de recherche que des questions de politique. Comme on le verra ci-après, cela est dû en partie au fait que le débat sur le CC (caractérisé par une sorte de réductionnisme physique) est fondé sur les sciences, et celui du DD (caractérisé par une optique plus centrée sur le comportement humain) sur les problèmes.

L'école de pensée du changement climatique planétaire

Même si les théories sur le changement climatique anthropique datent de longtemps et remontent peut-être même à la Grèce antique (Glacken, 1967), les préoccupations contemporaines concernant le changement climatique mondial sont absolument nouvelles. Au cours de la dernière décennie, ce qu'on a appelé le renforcement de l'effet de serre causé par les changements dans le bilan radiatif de la Terre dus à l'accumulation dans l'atmosphère du dioxyde de carbone (CO₂) et d'autres gaz qui sont sensibles aux rayonnements, est passé d'une préoccupation technique connue seulement de quelques atmosphéristes à de fortes inquiétudes dans le public et à un intérêt d'ordre réglementaire à l'échelle internationale. En fait, le changement climatique est maintenant considéré comme l'un des problèmes les plus graves qu'affrontera l'humanité au cours des cinquante prochaines années (Gribbin, 1990, cité dans Buttell *et al.* 1990, p. 57). Se ralliant à cette notion d'une menace pour la planète et l'humanité dans son ensemble qui a été établie scientifiquement, un réseau international de scientifiques, de fonctionnaires, d'environnementalistes et d'autres intérêts a réussi à pousser le problème du changement climatique à l'avant-scène des programmes internationaux.

Trois caractéristiques de l'école de pensée scientifique et politique sur le changement climatique sont dignes d'attention : le réductionnisme, la rationalité technique et instrumentale, et les alliances avec les politiques morales-libérales et rationnelles-technocratiques. Le GIEC et d'autres organismes nationaux et internationaux qui étudient le changement climatique se sont penchés sur

ce sujet comme étant une crise mondiale d'ordre *environnemental*, laissant de côté ses dimensions sociales, culturelles, morales et politiques et leurs rapports avec d'autres problèmes sociaux et environnementaux urgents tels que la famine, la pauvreté et les disparités Nord-Sud. En conséquence de cette formulation étroite du problème fondée sur les sciences naturelles, la question du changement environnemental planétaire, problème, qui était considéré de vaste portée concernant la disparité économique et politique entre un développement capitaliste moderne et le sous-développement, est devenue maintenant un problème étroitement défini d'émissions atmosphériques. En ramenant le changement à des questions purement physiques et donc en excluant les facteurs sociaux sous-jacents au problème, les scientifiques ont pu le modéliser mathématiquement. Leurs visualisations informatiques représentent les faits du changement climatique futur dans des nuances effrayantes de rouge et d'orange, exposant ainsi la réalité du problème aux décideurs et au grand public. Mais la base purement scientifique exigeant la prise de mesures et les politiques technocratiques-rationnelles et morales-libérales qui y répondent se sont montrées insuffisantes, voire un obstacle dans la recherche d'une réponse efficace au changement climatique. On trouvera ci-après un examen plus approfondi de ces trois problèmes.

Réductionnisme

La formulation réductionniste du CC découle de la manière dont on le concevait auparavant, comme objet de connaissance scientifique porté à l'attention du public. Même si la théorie moderne du changement climatique planétaire dû à l'effet de serre est discutée depuis la fin du XIX^e siècle, les travaux d'Arrhenius (1898) et d'autres n'ont laissé aucune trace dans les institutions ni dans les programmes. L'école de pensée actuelle sur le changement climatique mondial doit sa forme à la convergence de deux programmes scientifiques séparés : le premier fondé sur l'océanographie et portant sur le cycle planétaire du carbone et les flux entre les terres, l'océan et l'atmosphère, et le deuxième basé sur la science atmosphérique et lié à la modélisation numérique du comportement de l'atmosphère (Hart and Victor, 1993). Le fruit de leur union est le MCG, qui modélise mathématiquement les flux de matière et d'énergie dans les océans et l'atmosphère, et entre eux. La complexité, les exigences de calcul et les coûts de développement et d'exécution de ces modèles sont tels qu'il n'y en a que quelques-uns dans le monde entier.

Les modèles de circulation générale (MCG) ne constituent qu'une des nombreuses démarches possibles pour entreprendre l'étude du changement climatique, mais ce sont eux qui font de loin le plus autorité. Ils sont maintenant réputés comme étant le meilleur outil de compréhension et donc de protection et de gestion de l'atmosphère de la planète, mais la justification initiale de cette recherche fondamentale était d'ordre militaire. Au moins aux États-Unis, où nombre des premiers MCG ont été élaborés, la modélisation de l'atmosphère et la recherche océanographique sur le cycle du carbone dépendait fortement des fonds de recherche militaires de la Guerre froide plutôt, comme c'est le cas maintenant, que de leur application à la protection de l'environnement. Ce glissement a commencé au début des années 1970 alors que les scientifiques ont profité des nouvelles préoccupations concernant l'environnement, sous-jacentes à la conférence de 1972 de Stockholm sur l'environnement humain, pour établir des liens internationaux en matière de recherche et trouver davantage de fonds pour la surveillance et la recherche à l'échelle planétaire. Ce nouvel intérêt à l'égard du changement atmosphérique environnemental anthropique, né en partie des craintes du public devant la pollution de l'air et les effets des transports supersoniques,

n'a pas seulement aidé à y intégrer la chimie de l'atmosphère quand on a réalisé l'importance radiative des CFC et d'autres gaz; il a aussi forcé la communauté de la modélisation à s'intéresser moins à l'équilibre et davantage à la menace possible d'un changement climatique anthropique. Quand les atmosphéristes ont commencé à avertir des dangers d'un effet de serre accru dans les années 1980, leur perception du problème comme question d'émissions de CO₂ a plu à divers autres intérêts et alliés très puissants. Les bureaucraties gouvernementales nationales et internationales et les groupes de pression environnementalistes de l'occident se sont emparés du problème pour justifier une multitude de politiques de protection de l'environnement et de lutte contre la pollution. La représentation scientifique du changement climatique comme un problème d'émissions de carbone convenait parfaitement aux promoteurs des sources d'énergies dites de remplacement, comme l'énergie nucléaire et l'hydroélectricité, dont le marché se trouvait en plein marasme dans les années 1980 (Boehmer-Christiansen, 1994). Ensemble, ils ont aidé à sensibiliser au problème les décideurs nationaux et internationaux, et le grand public.

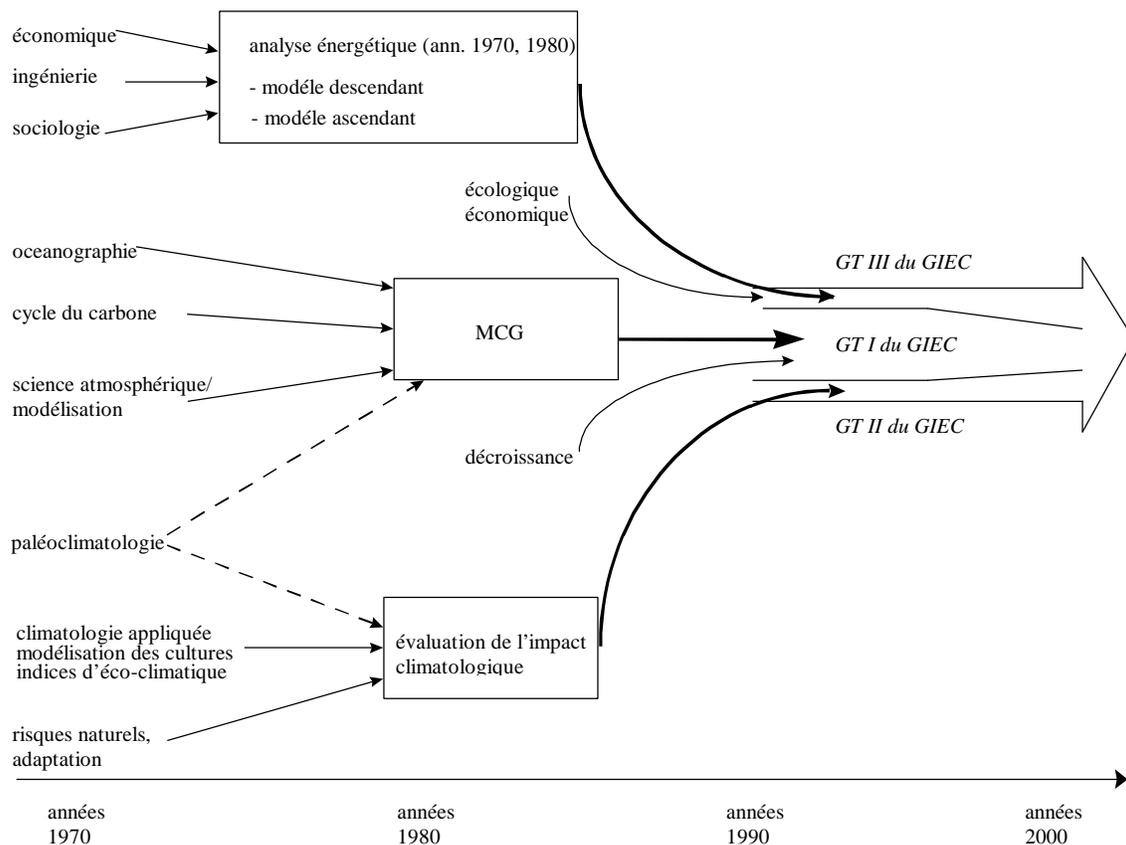
L'hégémonie des MCG a permis de marginaliser d'autres façons moins réductionnistes de comprendre le changement climatique planétaire, en particulier les méthodes paléoclimatiques et autres méthodes analogues. Les MCG font autorité, comme le font remarquer Shackley et Wynne (1995b), parce qu'en l'absence d'une preuve irréfutable du changement climatique anthropique dans les observations, les MCG non seulement offrent la meilleure indication du changement climatique planétaire, mais aussi font miroiter la promesse des prédictions détaillées nécessaires pour gérer le problème (par eux-mêmes, ou via des exercices de mise à échelle plus petite, comme Giorgi *et al.*, 1994). Ce sont les prévisions des MCG qui ont attiré tout d'abord l'attention des décideurs et du grand public à la Conférence de Toronto de 1988 (WMO, 1988). Ce sont eux qui ont fourni la base même de la première évaluation du GIEC en 1990 (Houghton *et al.*, 1990), ainsi que ses révisions ultérieures.

Le réductionnisme scientifique et la dépendance qui s'y rattache envers la modélisation des processus physiques a eu un certain nombre d'effets sur la manière dont le problème est étudié et compris. Dans la figure 7.1, nous avons essayé d'illustrer les rapports entre les divers domaines du milieu de la recherche sur le changement climatique.

L'analyse du CC s'est répartie en trois volets de recherche distincts, reliés par leur dépendance vis-à-vis des MCG, soit comme outils de recherche soit comme sources de données d'entrée. Il y a d'abord les recherches largement basées sur les MCG concernant les impacts des gaz traces sur le climat. C'est devenu le sujet principal du GT I. Le GT II a été chargé d'évaluer les impacts du CC, tels que prédits par les MCG, sur les écosystèmes et les activités humaines (p. ex., l'agriculture, les zones biogéoclimatiques, le niveau de la mer, etc.). Le milieu de la recherche sur les risques naturels, qui se penchait déjà sur les impacts des risques naturels et l'adaptation à ces phénomènes, étant engagé dans ces travaux, le Groupe de travail II a aussi été chargé d'examiner la question de l'adaptation au CC. Le GT III concernait les options de réponses de politiques. Bien que le mandat du second rapport d'évaluation ait été élargi pour inclure les vastes dimensions humaines du CC, il restait largement concentré sur la question politiquement controversée de l'atténuation. Il a donc été dominé par les participants (tant individuels qu'institutionnels) au débat des années 1970 sur la manière de réagir à l'épuisement (apparemment) imminent des combustibles fossiles, dont les modèles énergétiques sont

maintenant appliqués à l'économie de l'atténuation du CC. Comme nous le verrons plus bas, cette répartition institutionnelle des tâches entre l'adaptation et l'atténuation a eu d'importantes répercussions sur les recherches et sur les politiques. Cette structure organisationnelle s'est retrouvée dans un certain nombre d'évaluations nationales du CC (p. ex., Smith et Tirpak, 1989; Nishioka *et al.*, 1993; UKCCIRG, 1996; Étude pan-canadienne, tome VII). Facilité par un certain nombre de programmes internationaux, ce modèle de recherche est graduellement étendu aux pays en développement (p. ex., Strzepek et Smith, 1995). Là, comme ailleurs, la méthode reste résolument réductionniste, menée par les MCG et dépendant d'eux et d'autres modélisations des processus physiques.

Figure 7.1 L'école de pensée du changement climatique, des années 1970 jusqu'à maintenant.



Ainsi, les rapports entre ces domaines de connaissance - science de l'atmosphère, incidences physiques et options politiques - sont d'ordre hiérarchique. L'analyse des incidences biophysiques repose sur les scénarios du CC, habituellement dérivés des MCG et, à son tour, l'étude des options de réponse dépend des sorties de ces mêmes MCG et des travaux sur les incidences biophysiques. Cette manière d'organiser la recherche a mené à un « couloir de certitude », dans lequel les consommateurs des sorties de modèles d'un domaine de recherche lui font davantage confiance que les praticiens de la discipline d'origine (Shackley et Wynne, 1995a). Fait plus troublant, la structure hiérarchique constitue un déterminisme environnemental et technologique : la physique du changement climatique, telle que la présentent les MCG, établit les paramètres environnementaux auxquels les sociétés doivent s'ajuster et s'adapter (Taylor et Buttel, 1992).

Elle est liée étroitement à une mentalité fallacieuse qui veut que la discussion de la portée des futurs éventuels soit artificiellement restreinte par une focalisation induite sur les paramètres sociaux et environnementaux établis dans le cas du statu quo (voir « Scénarios de l'avenir » ci-dessous).

Plus récemment, on a essayé de combiner ces différents volets de recherche dans un processus dit d'évaluation intégrée (EI). Même s'ils ne s'y limitent pas, les principaux produits visibles jusqu'à présent ont été un certain nombre de modèles d'évaluation intégrée (MEI) de vaste envergure. Les MEI ont été annoncés par le GT III du GIEC comme étant le principal outil d'analyse des options de réduction; ils consistent généralement en une série de modèles reliés sur un continuum de trois à quatre étapes allant des émissions de gaz traces au changement de la composition de l'atmosphère et aux changements dans le climat et le niveau de la mer, c'est-à-dire les effets de premier ordre, et peut-être aux impacts de degré supérieur touchant les émissions (Alcamo *et al.*, 1995, 1996; Matsuoka *et al.*, 1995). Les options de réponse sont normalement considérées comme extérieures aux modèles et elles sont donc traitées comme des entrées exogènes. Cela rend difficile les échanges de modélisation entre les diverses options d'adaptation et d'atténuation. En outre, du fait de leur vaste échelle, souvent planétaire, les MEI exigent beaucoup d'agrégation et d'abstraction. En conséquence, de nombreux importants processus environnementaux et sociaux d'échelle régionale, comme la croissance démographique et le développement économique, risquent d'être omis ou, pire, présumés se poursuivre dans un contexte dit de statu quo. Cette distribution forcément inégale des impacts, surtout pour les plus vulnérables, est dissimulée par l'accent mis sur l'agrégation, de même que la nature polyvalente et multiple des endroits, intégrant une multitude d'implications qui ne sont pas forcément rendues lorsque l'on agrège les préférences individuelles ou que l'on se concentre exclusivement sur les impacts du CC à l'exclusion de tout autre changement économique et environnemental. La réponse du milieu de la modélisation des EI a été de continuer à inclure de plus en plus de variables pour atteindre une plus grande résolution.

Nous pensons cependant que le problème va beaucoup plus loin qu'une simple échelle spatiale de résolution ou du niveau d'abstraction. Il s'agit fondamentalement d'une question de valeurs. Les modèles « voient » le monde au moyen d'algorithmes complexes. Les choix analytiques de ce que l'on doit représenter, et la manière de le faire, impliquent des jugements de valeur. Ainsi la modélisation, et notamment (mais pas uniquement, cf. Wynne, 1996) la modélisation socio-économique, est une pratique très politique. Mais le réductionnisme des MEI incite les modélisateurs à traiter la représentation comme une question technique de paramétrisation correcte, qui doit être tranchée par des experts, plutôt que comme une question politique à débattre en public.

Rationalité technique et instrumentale

Ces aspects de la modélisation par EI mènent à une seconde caractéristique de l'école de pensée du CC : sa vision étroite et technico-scientifique. La science du CC est un exemple classique de ce que Weber et d'autres sociologues appellent rationalité instrumentale, ou rationalité de la fin justifiant les moyens : la connaissance technique appliquée à la réalisation la plus efficace d'un but incontesté (Brubaker, 1984). Dans le cas du CC, le contexte social dans lequel les GES sont

produits a été largement ignoré, sauf comme questions techniques sur les taux et les processus physiques. Les émissions de CO₂ de GES provenant de l'utilisation de combustibles fossiles dans les pays industrialisés sont analysées dans les mêmes termes universels et scientifiques que les émissions de méthane provenant de l'agriculture dans les pays en développement. Même si l'importance politique de ces différences a été reconnue dans le débat international qui a abouti au Protocole de Kyoto de 1997, elle est ignorée aux fins de l'analyse qui, au moyen des MCG et du potentiel de réchauffement du globe (Shackley et Wynne, 1997), a cherché à unifier les différentes qualités des émissions de gaz à effet de serre en un système d'équivalence scientifique planétaire. Ainsi, la science du CC repose sur l'idée que l'objectif des propriétés des GES peut et devrait être séparée de leur importance pour la population humaine ou de tout objectif social, en vue de leur gestion.

Cet effort visant à détacher la compréhension scientifique et technique des phénomènes du CC d'une appréciation de leur valeur et de leur signification sociale se reflète dans la manière dont la recherche a été financée. La plupart des fonds de recherche ont été consacrés à lever les incertitudes scientifiques quant aux processus physiques, et non à explorer le contexte social dans lequel on les comprend et en fait l'expérience. Cette affectation du financement aide à renforcer les liens hiérarchiques entre les trois domaines de la recherche sur le CC. Qui plus est, une telle optique tend à ignorer le fait qu'à long terme le climat sera l'un des nombreux facteurs sociaux, économiques et environnementaux qui façonneront le monde. Les MEI ont été élaborés pour aider à comprendre les rapports complexes entre les changements climatiques, les incidences physiques et les éventuelles réactions de politiques, mais, comme nous l'avons fait remarquer ci-dessus, le concept général reste réductionniste et technique. Cela tend à rendre les scientifiques du CC et les décideurs qui dépendent de leur expertise technique imperméables aux diverses significations sociales (et politiques et économiques) des entités qui ont été réunies analytiquement par les MCG, les MEI et les indices de potentiel de réchauffement du globe en une économie mondiale d'échanges de GES (Demeritt, à venir).

Étant donné le caractère purement instrumental de l'école de pensée du CC, les politiques nationales et internationales sur le changement climatique planétaire ont été axées uniquement sur les arguments scientifiques, et fondées sur eux. À la conférence de Toronto de 1988, qui a, pour la première fois, attiré l'attention du public sur le CC, les appels à la prise de mesures ont été fondés sur une science objective plutôt que sur l'équité ou d'autres critères normatifs (WMO, 1988). Ils ont donc nié tout contenu normatif ou politique, tout en préconisant un programme politique comme réponse logique à une évaluation objective et sans préjugé des faits scientifiques. Cela diffère tout à fait des idées antérieures concernant le CC qui, quoique soucieuses d'une observation soignée du changement environnemental, étaient reliées à une évaluation normative de la société, dont on jugeait que les valeurs morales se traduisaient par des changements environnementaux provoqués par l'homme. Ainsi, tandis que les philosophes français voyaient la corruption du colonialisme reflétée dans et confirmée par les changements climatiques qu'ils ont mesurés sur l'Île Maurice au XVIII^e siècle (Grove, 1995), au début du XIX^e les moralistes américains ont célébré le réchauffement qu'ils voyaient accompagner l'abattage forestier comme une confirmation divine des efforts américains pour civiliser la nature sauvage (Demeritt, 1991). Par contraste, l'école de pensée contemporaine et scientifique sur le CC désavoue un tel

moralisme, ou l'intérêt dans la société humaine comme un objet d'étude, sauf en tant que source exogène d'émissions atmosphériques causant le CC.

Paradoxalement, en fait, l'aspect objectiviste de l'école de pensée sur le CC et la disjonction marquée entre la science et la politique a mené au renforcement de son réductionnisme scientifique et à sa marginalisation dans un contexte culturel et social du CC. Ces dimensions de valeur du problème du CC ont été considérées comme d'ordre politique et, par définition, peu scientifique (Newby, 1993). Ce n'est pas un hasard si l'économie néoclassique, la plus réductionniste et instrumentale des sciences sociales, en est venue à dominer l'étude de ce qui passe maintenant pour les dimensions humaines du CC. En niant la légitimité épistémique et la valeur scientifique de tout ce qui semble le moins politique, l'école de pensée du CC a tendance à s'éloigner des dimensions du problème qui sont importantes pour des fins de politiques.

Politiques morales-libérales et rationnelles-technocratiques

Le réductionnisme et le ton rationnel instrumental de l'école de pensée du CC, sont liés étroitement à une troisième caractéristique : ses liens à la fois avec les opinions morales-libérales et avec les opinions rationnelles-technocratiques de la politique et de la science (Taylor et Buttel, 1992). Dans les deux cas, la conception réductionniste du réchauffement planétaire en tant que force environnementale exogène touchant l'ensemble de la population mondiale est attrayante pour tous les intérêts indifférenciés et communs de la population. Elle omet les problèmes spécifiques locaux et complexes du DD, en les réduisant à un simple impératif de contrôle des émissions de gaz à effet de serre dans le monde. La seule différence est dans la manière dont les réductions des émissions doivent être réalisées. La formulation morale-libérale dépend de la communication des connaissances scientifiques sur les risques objectifs du CC pour redresser le comportement égoïste, naïf ou ignorant qui contribue au réchauffement mondial, alors que l'élément rationnel-technocrate se fonde sur la science pour identifier la politique optimale à laquelle les particuliers devront se soumettre. Ces deux éléments supposent que le rôle correct de la science est de fournir certaines connaissances sur lesquelles fonder les décisions politiques et, en conséquence, que le premier obstacle à surmonter est l'incertitude scientifique quant au CC, qui empêche la formation d'un consensus démocratique (moral-libéral) et l'optimisation de la politique (rationnel-technocrate).

Cette formulation du rapport entre la science et les politiques donne une base très faible pour réagir efficacement au CC. Les politiques morales-libérales des habitants de la planète et l'éducation visant à convaincre les particuliers de changer leur style de vie pour éviter un changement de climat mondial se sont heurtées à l'apathie et à la méfiance du public (Hinchliffe, 1996), tandis que l'élément rationnel-technocrate prête le flanc à la déconsidération lorsque, comme c'est à peu près inévitable, les engagements socio-politiques de son programme axé sur la science deviennent manifestes. Ainsi, les critiques sociaux se plaignent de ce que l'on se concentre trop sur les émissions de GES, dont les effets ne seront pas ressentis d'ici au moins une génération, ce qui les détache de leur contexte social et détourne l'attention de préoccupations plus pressantes et immédiates telles que la pauvreté et la faim. Les pays en développement résistent aux pressions visant à leur faire réduire leurs émissions de gaz à effet de serre, qu'ils

voient comme une nouvelle forme de colonialisme environnemental destiné à les maintenir dans leur état de pauvreté et de sous-développement (Parikh, 1992; Parikh et Painuly, 1994). Fait encore plus grave, peut-être : l'incertitude scientifique persistante qui est devenue la principale justification d'inaction devant le CC. Elle a permis à l'industrie des combustibles fossiles des États-Unis de déguiser son opposition farouche et égoïste à toute politique d'atténuation en défense de principe de normes scientifiques. Dans la mesure où l'élément scientifique du CC mondial se heurte à un ensemble global non différencié et se fonde exclusivement sur l'autorité de la science pour créer ce sens du « nous » dans la population mondiale, « nous » agissons davantage en spectateurs qu'en participants pour façonner nos avenir respectifs à la fois communs et si différents (Taylor et Buttel, 1992, p. 406).

L'école de pensée du DD

Bien que l'expression « développement durable » date probablement des années 1980² cette notion est beaucoup plus ancienne. Les préoccupations quant aux répercussions environnementales des activités humaines dans l'histoire du monde occidental remontent au moins aux Grecs (Wall, 1994). Plus récemment, la naissance de la société industrielle moderne en Europe a donné lieu à une série de critiques puissantes de la part des romantiques qui étaient épouvantés de ce qu'ils considéraient comme le mécanisme sans âme du nouvel âge, et le dénigrement correspondant de la nature externe et interne. Une vision fort différente a été présentée par les premiers critiques sociaux, qui ont été consternés par les conséquences humaines de l'industrialisation. À la fin du XIX^e siècle, ces deux lignes de pensée ont influencé le développement de deux écoles prééminentes de la pensée environnementale aux États-Unis : les préservationnistes associés à Muir (1901 : voir Thoreau et Emerson) et les conservationnistes associés à Gifford Pinchot (1910)³. La tradition préservationniste était de nature transcendante, affirmant que la préservation de la nature en tant qu'impératif moral et éthique était liée au développement spirituel de l'humanité. Les conservationnistes étaient explicitement des utilitaristes, affirmant que la conservation de la nature était nécessaire pour assurer la disponibilité continue des ressources naturelles pour un usage futur par les humains.

Au XX^e siècle, ces deux écoles de pensée ont été submergées par d'autres préoccupations durant la Grande dépression, la Deuxième Guerre mondiale et l'essor d'après-guerre. Ces préoccupations ont pris une nouvelle forme dans les années 1960 avec les protestations contre l'énergie nucléaire et les diverses formes de pollution de l'air et de l'eau⁴. C'est ainsi qu'est né le mouvement environnemental des années 1970 et 1980.

² Comme on le voit ci-dessus, l'expression a été popularisée et vulgarisée par la Commission Brundtland en 1987, mais a été utilisée bien avant (Clark and Munn, 1986). L'expression « société durable » a été utilisée par Brown au début de la décennie (Brown, 1981).

³ Cela relève évidemment de l'histoire américaine. Les préoccupations modernes d'ordre environnemental ont pris une forme quelque peu différente dans d'autres pays. Par exemple, en Grande-Bretagne, cette préoccupation était liée à un sens anglais très conservateur de *noblesse oblige*, tandis qu'au Canada, la préservation de la nature était fortement associée à l'édification économique d'une nation. Ici, on tient simplement à dire que les préoccupations modernes concernant les incidences de la société industrielle sur la nature et que les humains ont joué un rôle dans le développement d'une préoccupation environnementale moderne dans le présent siècle.

⁴ Ces préoccupations représentaient la naissance d'une nouvelle préoccupation environnementale urbaine, concentrée sur la pollution et les questions d'épuisement des ressources plutôt que sur la conservation de la nature

Comme le suggère le nom, le mouvement environnemental de cette période se préoccupait davantage des questions biophysiques des répercussions environnementales, de l'épuisement de ressources et de la préservation de la nature⁵. Un ton fortement apocalyptique caractérisait les grandes déclarations telles que *Limits to Growth* (Meadows *et al.*, 1972) ou *A Blueprint for Survival* (Goldsmith *et al.*, 1972). Ces tendances ont été renforcées par la crise de l'énergie de 1973-1974 que de nombreuses personnes ont interprétée comme fournissant la première indication que le monde allait bientôt perdre toutes ses ressources non renouvelables ou polluer et (ou) se surpeupler jusqu'au point de l'effondrement. La crise de l'énergie de 1973-1974, et celle qui l'a suivie en 1979, sont devenues le point central des préoccupations d'ordre environnemental. Des milliards de dollars ont été investis dans la recherche et les économies d'énergie ainsi que les formes d'énergies de remplacement dans les années 1970 et au début des années 1980, et les gouvernements ont institué des programmes d'utilisation rationnelle de l'énergie; l'industrie de l'électricité, en Amérique du Nord en particulier, a commencé une série de programmes sur la gestion de la demande et sur les énergies de remplacement (Buttel *et al.*, 1990).

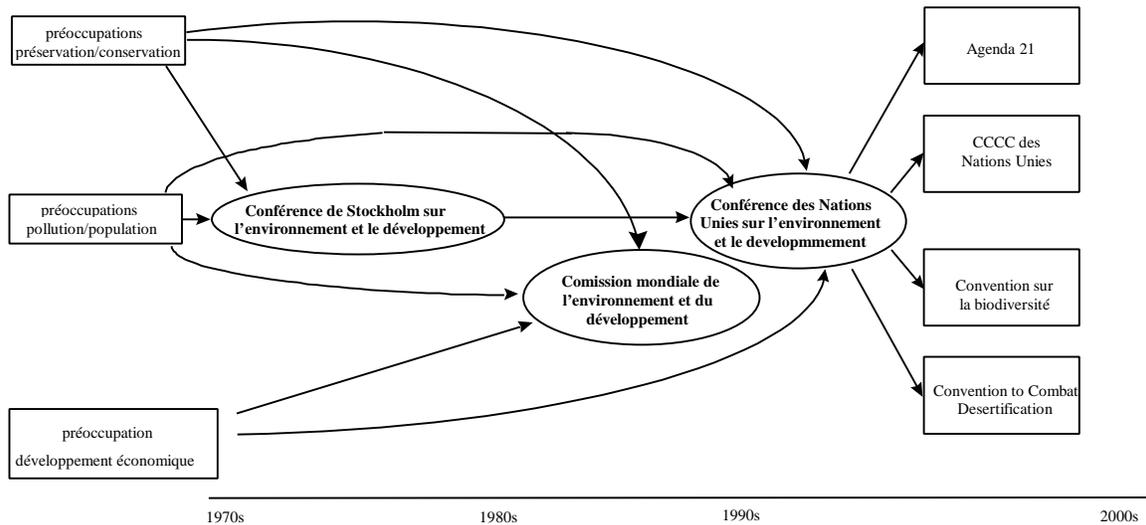
Du côté international, même si l'on s'est davantage concentré sur les problèmes locaux de l'environnement dans les années 1960, on a commencé à se pencher sur les problèmes mondiaux durant les années 1970, l'argument environnemental étant primordialement l'apanage des pays industrialisés. La réaction dans les pays en développement s'est souvent avérée sceptique. Dans une déclaration fameuse lors de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement à Stockholm, le ministre de l'Environnement du Brésil aurait dit : « Si nous avons le choix entre la pollution et l'industrie, ou aucune pollution et aucune industrie, donnez-nous votre pollution. »

Au cours des années 1980, ces tendances disparates (préservation de la nature, préoccupation quant à la pollution et aux ressources, une tendance de plus en plus mondiale, l'inclusion des préoccupations des pays en développement) ont commencé à se rassembler (figure 7.2). Un catalyseur important a été l'apparition d'un surplus pétrolier au milieu des années 1980 qui a simultanément supprimé les craintes quant à l'épuisement des ressources et réduit de manière dramatique la recherche et l'investissement dans les sources de remplacement énergétique et l'efficacité énergétique. Cela a coïncidé avec l'entrée du CC dans les programmes scientifiques et politiques de la fin des années 1980. Un des résultats en a été une conversion pour ainsi dire totale du problème énergétique en « problème climatique », ce qui a eu pour effet de fournir un contexte beaucoup plus environnemental et mondial au débat énergétique.

à l'état vierge. En Amérique du Nord du moins, cela a donné lieu à un nouvel ensemble de groupes environnementaux, tels que Pollution Probe au Canada, outre les groupes déjà existants comme le Sierra Club, qui se concentraient davantage sur les questions de la nature à l'état pur. Les premiers groupes cherchaient à adopter une façon de procéder plus conservatrice tout en s'appuyant sur l'efficacité de l'utilisation, tandis que les groupes axés sur la nature étaient les héritiers d'une tradition de préservation.

⁵ L'environnementalisme européen, avec des racines profondes dans la critique sociale et politique, cherchait à manifester une plus grande concentration sur les problèmes sociaux (p. ex., le Parti vert en Allemagne).

Figure 7.2 Aperçu de la ligne de pensée du développement durable, des années 1970 à maintenant.



En ce qui concerne les problèmes internationaux, la création de la Commission mondiale de l'environnement et du développement (CMED) des Nations Unies en 1985 a marqué un tournant dans la sophistication du débat et l'incorporation des préoccupations des pays en développement. Lorsqu'elle abordait les questions de développement international, la plus grande partie de la littérature sur l'environnement produite dans les pays industrialisés tendait à se concentrer sur la nécessité du contrôle des naissances dans les pays en développement. Pour la première fois sans doute, la Commission Brundtland fournissait un forum international de premier plan aux pays en développement. Ainsi, la Commission a rassemblé deux groupes de documents séparés : la littérature sur la durabilité environnementale et celle sur le développement social et économique.

En adoptant l'expression « développement durable », la Commission soutenait que les problèmes du développement humain (pauvreté, injustice, besoins essentiels) ne pouvaient être séparés des problèmes de l'épuisement des ressources, de la biodiversité, de la pollution et des systèmes vitaux. Le fait que ce concept était articulé par une commission des Nations Unies dirigée par un chef d'État d'un pays industrialisé lui a donné beaucoup plus de visibilité et d'impact qu'il n'en aurait eu autrement. La Commission a aussi introduit le DD dans l'ordre du jour politique, tant sur la scène internationale qu'à l'échelle nationale, dans beaucoup de pays. Finalement, le lien explicite de la démographie et du problème du développement dans les pays en développement avec le problème de la consommation dans les pays industrialisés signifiait que le DD était par nature un concept mondial.

Cela ne veut pas dire que le concept de DD était unanimement reçu, ou même acceptable aux niveaux inférieurs. Beaucoup d'environnementalistes, par exemple, l'ont considéré comme suspect, surtout à cause de sa popularité auprès des politiciens et des grandes sociétés. On se préoccupait également de son caractère analytique vague, et de la respectabilité environnementale relative dont il enveloppait la poursuite de la croissance économique (Redclift, 1996).

Et pourtant, c'est cette perspective de conciliation des préoccupations pour de meilleurs niveaux matériels de vie, de bien-être social et de durabilité environnemental qui sous-tend toute une série d'initiatives politiques locales, nationales et internationales à l'appui du développement durable. Ces initiatives ont atteint leur apogée à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement qui a eu lieu à Rio en 1992. La conférence de Rio a reçu plus de chefs d'État que toute autre conférence et a mené directement à l'élaboration d'un certain nombre de conventions internationales, de déclarations, de politiques nationales et d'initiatives locales *d'Action 21*.

Toutefois, cette force politique apparente du concept de DD fait ressortir ses points faibles dans la pratique. Malgré une pléthore de politiques, de conventions, de déclarations et de programmes, il n'est pas évident que des progrès importants soient faits dans le sens des objectifs du DD. Dans le domaine du CC, par exemple, l'élément clé ressorti de Rio a été la Convention-cadre sur les changements climatiques (CCCC) des Nations Unies et une prolifération de politiques nationales connexes. Le résultat le plus remarquable à l'heure actuelle est la reconnaissance et l'admission que la plupart des pays industrialisés ne réussiront pas à atteindre les cibles très limitées de réduction des émissions définies dans la Convention, cibles qui sont loin d'approcher le niveau requis pour stabiliser la concentration de GES dans l'atmosphère.

Les préoccupations quant à la valeur et à l'utilité de la notion de développement durable ont été bien résumées par Gibson (1990), qui avance qu'elle est vague, attire les hypocrites et mène à se bercer d'illusions. Un rapide coup d'oeil à ces préoccupations aide à mettre en lumière les forces et les faiblesses de la littérature et de la pratique du développement durable.

Auparavant, et sans nous prononcer sur ces questions, nous devrions faire remarquer que, de toute évidence, leur existence même confirme les points avancés plus tôt : le DD n'est pas un concept scientifique, mais une expression contestée dans un discours essentiellement politique sur les activités et les comportements humains. Gouvernée par des inquiétudes écologiques et sociales elles-mêmes basées en partie sur les résultats de recherches scientifiques, la ligne de pensée sur le DD est cependant plus une tribune au sein de laquelle on débat des implications pratiques de ces préoccupations, et où l'on propose et évalue diverses politiques et décisions. Il n'est peut-être pas surprenant que les carences de l'idée de DD soient fonction de ces mêmes caractéristiques. Étant donné qu'il s'agit d'une stratégie jugée toujours gagnante, les échanges stratégiques, sociaux, politiques et environnementaux permettant de réaliser la durabilité à long terme sont souvent ignorés. Une grande partie de sa faveur sur le plan politique vient précisément de ce qu'elle ne confronte pas à des décisions difficiles. L'aptitude de le faire est soulignée par le manque de rigueur conceptuelle quant au sens réel du DD dans un contexte donné, et quant à ce que seront les compromis et les décisions difficiles à prendre à cet égard.

Ambiguïté

La définition la plus connue du développement durable est celle qu'en a donnée le rapport Brundtland (1988, p. 10) :

Le genre humain a parfaitement les moyens d'assumer un développement soutenable, de répondre aux besoins du présent sans compromettre la possibilité pour les générations à venir de satisfaire les leurs.

Un peu plus loin, le rapport précise :

... le développement soutenable n'est pas un état d'équilibre, mais plutôt un processus de changement dans lequel l'exploitation des ressources, le choix des investissements, l'orientation du développement technique ainsi que le changement institutionnel sont déterminés en fonction des besoins tant actuels qu'à venir.

Dans ces formulations et d'autres, l'accent est clairement mis sur la capacité de continuer à répondre aux besoins futurs de l'humanité tout en réduisant les impacts sur l'environnement. Il s'y ajoute une forte insistance sur la nécessité d'accroître les niveaux de vie matériels dans de grandes parties du monde. Tous les éléments sont donc réunis pour le terme de développement durable ait des sens différents pour les divers groupes et intérêts. Pour les porte-parole de l'industrie, il s'agit de reconnaître que la croissance économique est essentielle afin de continuer de protéger l'environnement. Pour les environnementalistes, cela peut être la nécessité de reformuler en profondeur la nature de l'activité économique, et de redistribuer significativement la richesse.

Le terme même de développement durable illustre le problème. Les deux mots qui le composent sont en soi contradictoires. Le développement est-il synonyme de croissance économique, ou signifie-t-il plus (ou moins) que cela? Sur quelle échelle temporelle le développement doit-il être durable? Certaines activités (comme l'exploitation minière) sont-elles par définition non durables parce que la ressource est finie?

Il en résulte qu'il n'y a pas de définition précise ou opérationnelle du développement durable qui soit généralement acceptée. Cependant, bien que ce soit une source continue de frustrations du point de vue de l'analyse et de la recherche, c'est une source de force sur la scène politique. L'ambiguïté même du terme développement durable permet à différents intérêts, d'opinions très différentes sur les questions de DD, d'engager un dialogue politique sur le sujet. L'émergence de tables rondes sur le DD et les organismes locaux *Action 21* du monde entier en témoignent, tout comme la présence de centaines de chefs d'État au Sommet de la Terre en 1992. Autrement dit, le fait que la notion de DD soit vague, bien qu'étant une faiblesse analytique, peut être une force politique. Cette ambiguïté constructive ne signifie bien entendu pas que des décisions fructueuses en matière de politiques seront prises, mais elle permet la structure du discours politique et des coalitions qui offrent cette possibilité.

Hypocrisie

Parmi les environnementalistes, une des grandes préoccupations est que l'utilisation fréquente de la ligne de pensée du DD par les gouvernements et l'industrie ne soit qu'un environnementalisme de façade, un déguisement permettant de conserver le statu quo. Les exemples les plus souvent cités sont ceux de l'étiquetage « vert » de produits allant des craquelins sans sel à l'essence à l'éthanol.

Bien sûr, le sujet est étroitement lié au problème de l'ambiguïté abordé plus haut. Sans définitions et critères clairs pour les politiques et pratiques de DD, il est difficile de prévenir, ou même de détecter, les allégations non justifiées. De plus, il y a un débat légitime sur les mérites environnementaux relatifs des produits de consommation ou des procédés de production de remplacement.

Une fois de plus, le problème illustre la nature politique et sociale de la notion de DD. Et, encore une fois, ce caractère plus politique a des conséquences pratiques. Un des résultats de la prédominance des politiques et des argumentations de DD dans les gouvernements et le milieu des affaires a été l'émergence et la croissance rapide de l'étiquetage et de la certification verts, et des indicateurs de durabilité. Ce développement a commencé à permettre de tester et de surveiller les allégations quant aux impacts environnementaux.

La récente émergence de la norme ISO 14000 illustre précisément ce phénomène. Généralement perçue comme relativement dépourvue de contenu spécifique, puisqu'elle requiert la présence d'un système de gestion de l'environnement sans rien dire de son contenu, cette norme jouit d'une apparente popularité qui pourrait avoir un impact significatif sur les pratiques commerciales dans le monde entier (Begley, 1996).

Illusions

La critique la plus fondamentale de la notion de DD est peut-être qu'elle porte à s'illusionner, qu'elle encourage le point de vue que l'on peut avoir le beurre et l'argent du beurre, pour ce qui est de la durabilité écologique. Il y a ici deux grands points inquiétants. D'abord, il y a la question de savoir si l'idée même du DD est un oxymore. À cet égard, l'argument avancé par la Commission Brundtland que nous devons faire augmenter l'activité économique planétaire d'un facteur de 5 à 10 pour régler les problèmes de la pauvreté généralisée est souvent perçu comme incompatible avec les exigences de la durabilité écologique planétaire (Duchin et Lange, 1994). Ensuite, il y a la suggestion que la forte anthropocentricité de la notion de DD, centrée sur les besoins de l'homme, est incompatible avec un besoin de passer à des méthodes plus écocentriques ou biocentriques pour résoudre les problèmes environnementaux, insistant en même temps sur une reconsidération d'ordre philosophique et spirituel de la relation entre l'humanité et la nature, accompagnée d'une modification assez radicale des activités et comportements humains (Sagoff, 1995). Ces deux points de vue ont en commun que la notion de DD peut activement nuire à la résolution des problèmes environnementaux, détournant l'attention des changements fondamentaux nécessaires et nourrissant l'illusion que les politiques cosmétiques de DD suffiront à empêcher l'effondrement de l'environnement.

On ne dit pas ici que la notion de DD est vide de sens. Au contraire, on pourrait avancer qu'elle peut représenter une percée dans la façon de concevoir le lien entre les questions sociales et les questions environnementales. Elle permet, exige même, de reconnaître la nature planétaire du lien entre les questions d'environnement et les questions de développement. Elle souligne ainsi la nécessité de concilier les intérêts des diverses régions du globe et d'explorer des façons de réduire les impacts environnementaux planétaires, tout en augmentant le bien-être de la population humaine. La chose a trouvé son expression surtout sur la scène politique, en tant que question de

politiques et de comportement, et non de science, ce qui l'a rendue attrayante pour les gouvernements et le milieu des affaires, ainsi qu'auprès des groupes locaux comme le mouvement *Action 21* en Europe. Elle est profondément ancrée dans les processus politiques et décisionnels réels qui seront un des principaux moyens d'atteindre les idéaux de la durabilité.

Le contexte institutionnel - Convergence et divergence

Jusqu'à présent nous avons présenté les écoles de pensée du DD et du CC comme si elles étaient totalement séparées. En fait, on a tenté à plusieurs reprises de les combiner dans des initiatives de recherche et de politique. Un bref coup d'œil sur le déroulement de celles-ci, à l'étranger et au Canada, pays industrialisé qui a joué un rôle actif dans la promotion des mesures à prendre tant dans le domaine du CC que du DD, illustrera le degré de réussite de ces tentatives.

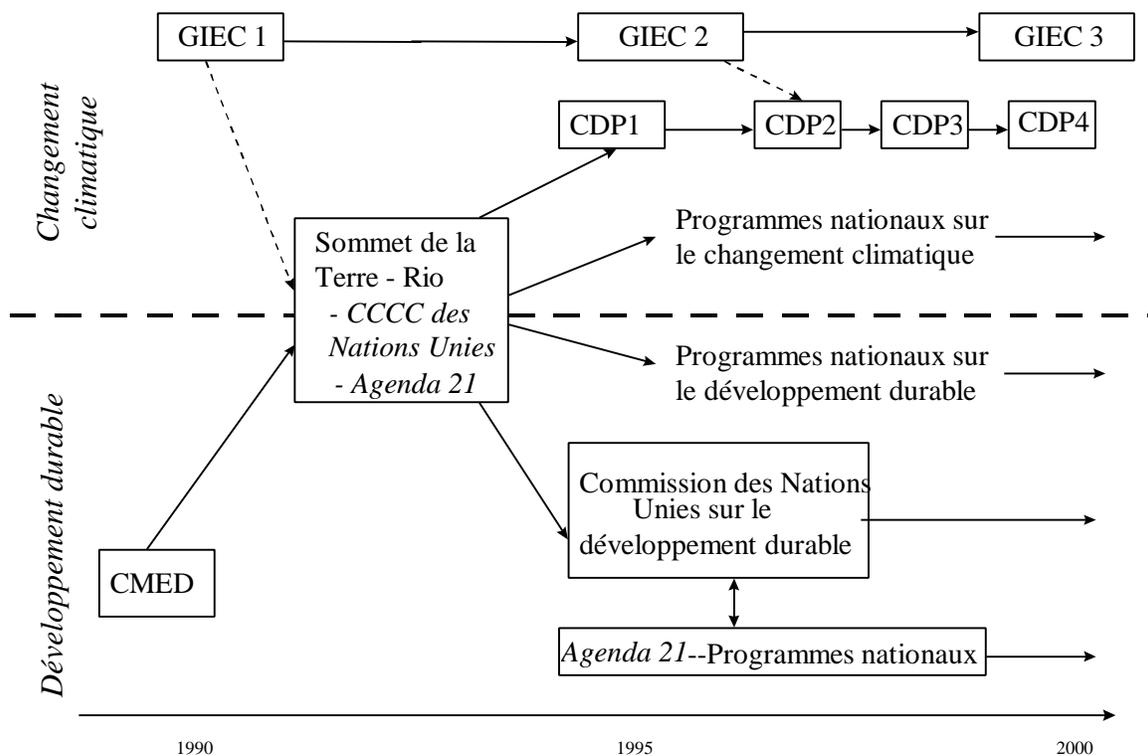
Institutions et initiatives internationales

La figure 7.3 illustre les chemins séparés que les programmes de CC et de DD ont empruntés sur la scène internationale au cours des dix dernières années. Bien que le GIEC et la CMED soient des activités séparées, ils se sont regroupés pendant un moment lors du Sommet de la Terre en 1992, alors que les deux questions étaient discutées dans le même cadre environnemental mondial. En fait, à Rio, le CC était considéré comme l'un des problèmes clés du DD, et des discussions ont été entamées sur les grandes questions d'éthique et de politique dans ce domaine. Après Rio, toutefois, les discussions sur le CC et le DD ont repris leurs chemins respectifs individuels. Le chemin du CC comprend les revues par le GIEC de divers domaines de recherche scientifique, y compris la science atmosphérique, les impacts (agriculture, foresterie, ressources en eau, santé, etc.), l'économie et les MEI. Il n'y a pas de recherche comparable dans le domaine du DD, ni de lien direct entre les activités du GIEC et du DD. Toutefois, dans le domaine du DD, le Sommet de Rio a été suivi par une série d'initiatives politiques dans divers pays, y compris une série de stratégies nationales de DD et une série de programmes locaux d'*Action 21* au niveau des communautés.

L'élément politique du CC issu de Rio s'est concentré sur la scène internationale et en particulier sur la CCCC des Nations Unies et les Conférences des Parties (CDP). Ce processus n'a pas, jusqu'à présent, réussi à amener les pays à ralentir l'augmentation de leurs émissions de GES. Même si certains pays développés ont fourni des cibles de réduction des émissions (généralement une réduction au niveau de 1990 d'ici 2005), la plupart ne les réaliseront pas selon l'Agence internationale de l'énergie, 1995.

En 1997, la Conférence de Rio +5 a permis la prise en compte simultanée des questions de CC et de DD. Jusqu'à présent toutefois, il ne semble pas que cela doive mener à un effort les combinant. En fait, des plans ont été entamés pour un troisième rapport d'évaluation du GIEC, qui, une fois encore, n'inclura pas le CC dans la discussion générale du DD.

Figure 7.3 Programmes internationaux sur le changement climatique et sur le développement durable, de 1980 jusqu'à maintenant.



Institutions au Canada

Le gouvernement du Canada a été l'un des promoteurs les plus actifs de la CCCC et du concept du développement durable. Les chemins respectifs du DD et du CC ont divergé sur le plan international après le Sommet de la Terre, et il semble en avoir été de même au Canada, après une brève période de rapprochement au début des années 1990.

Lorsque le problème du CC est devenu plus manifeste en tant que préoccupation de politiques à la fin des années 1980, la stratégie canadienne a été de mettre l'accent sur la recherche climatologique. C'est devenu un élément du Plan vert du gouvernement canadien, annoncé en 1990. Le volet « science du réchauffement de la planète », sous les auspices d'Environnement Canada, a été conçu pour fournir de meilleurs renseignements sur les tendances, processus et changements du climat. Ces derniers devaient être étudiés grâce à un investissement continu dans la modélisation du climat du globe. Une petite partie était également réservée pour l'évaluation des incidences climatiques.

Le Plan vert lui-même était un document plus vaste et plus ambitieux, dans lequel le CC et le DD ont été considérés ensemble (Canada, 1993). Le Plan avait pour but principal de sensibiliser les Canadiens à l'environnement grâce à la promotion de nouvelles valeurs environnementales (avec l'appui d'organisations environnementales non gouvernementales (OENG) et le programme Eco-Logo). Darier (1996) a conclu qu'il s'agissait d'un exemple de « gouvernementalité

environnementale » dans lequel une politique de recherche et d'éducation avait été établie pour enseigner les valeurs environnementales aux Canadiens.

L'expérience du Canada relativement au Plan vert, toutefois, suggère que le CC et le DD restent très séparés. La plupart des programmes de sciences naturelles ont été orientés vers le problème du CC, avec de grands efforts de détection des changements climatiques, de modélisation du climat et de recherche sur les processus liés au climat. On visait des initiatives politiques fortes orientées vers le CC, comme des accords concernant les émissions, l'efficacité énergétique et la plantation d'arbres, sous la rubrique générale « Sécurité de l'environnement mondial ». Toutefois, le Programme national d'action sur le changement climatique (PNACC), faisant suite à la CCCC des Nations Unies, s'est concentré sur le Programme défi-climat et mesures volontaires et registre, conçu pour inciter l'industrie à trouver une plus grande efficacité dans la production et la consommation d'énergie. Il y a également un programme national de communications visant à sensibiliser le public, des programmes pour inciter au développement des carburants de remplacement et d'une industrie « verte » et pour promouvoir l'amélioration des puits du carbone dans l'agriculture et la foresterie. Il n'y a eu aucun lien explicite avec les programmes de ressources renouvelables durables ou avec *Action 21* (Canada, 1995).

Tandis que le problème du CC a été défini comme un problème de « sciences naturelles » dans lequel les émissions de GES menaient à un réchauffement qui pouvait nuire aux Canadiens, le débat sur le DD portait plus évidemment sur toute une gamme d'éléments culturels et économiques des problèmes environnementaux. Plusieurs initiatives politiques dans le cadre du Plan vert touchaient le DD, y compris les initiatives de foresterie durable, 12 % des terres ayant été mises de côté et protégées, et le nettoyage des décharges. Il n'y a toutefois aucun programme de recherche sur les causes du manque de durabilité.

L'écart entre les écoles de pensée du CC et du DD au Canada peut être en train de rétrécir de nouveau, comme on l'a vu dans les récentes discussions sur les « circonstances nationales » du Canada. Le Groupe Delphi (1997) définit cela comme l'étude des incidences de la CCCC sur la production économique et les conditions environnementales des pays. Un cadre national de circonstances a été proposé : il inclurait des facteurs qui sont liés à la fois au CC et à la CCCC. Toutefois, dans ces stratégies proposées de négociation, ce rapport recommande que l'adaptation, aspect clé du DD, ne fasse partie d'aucune stratégie sur le changement climatique. Le commerce est défini en termes de contenu de carbone des combustibles fossiles et des exportations de coûts énergétiques (énergie liée à l'exportation de minéraux traités, d'électricité, etc.) et ne comprend pas les produits renouvelables (produits forestiers et agricoles). Même si les incidences du CC à l'échelle régionale sont reconnues, y compris les préoccupations non commerciales qui pourraient mener à une sous-estimation des incidences au Canada, son rôle dans les négociations au niveau international à long terme n'est pas clairement défini.

Au Canada, le débat qui a mené au Protocole de Kyoto de 1997 s'est concentré sur la capacité du Canada à atteindre les objectifs de réduction des émissions de GES par les seuls changements technologiques. On n'y a pas fait intervenir les prix de l'énergie, les modes de vie ni l'adaptation. Les préoccupations liées aux objectifs et aux engagements des pays en développement ont mené à des conflits avec certains intérêts de l'industrie des combustibles fossiles, qui s'inquiétaient des

impacts économiques des mesures de politiques. Les représentants des gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux en sont donc arrivés à un objectif de compromis : stabilisation aux niveaux de 1990 d'ici 2012, ce qui est devenu la position d'ouverture du Canada à la CP-3. L'acceptation d'une réduction plus poussée de 6 % n'était pas prévue. On pense peut-être encore que le passage à des voitures à faibles émissions et d'autres changements technologiques sera la principale (ou la seule?) option possible. On envisage aussi l'amélioration des puits (p. ex., par le reboisement).

Dans l'accord de Kyoto, on encourage diverses mesures financières et technologiques (des mécanismes de développement non polluants, la mise en oeuvre conjointe, les échanges de droits d'émission). Ces mesures ont des implications pour le développement économique, et la surveillance de leur performance dépendra de notre capacité à évaluer comment les innovations d'ingénierie et de biologie influent tant sur la consommation d'énergie et les taux d'émission de GES que sur les vulnérabilités aux nouveaux régimes de température et de précipitations. Lorsque le Plan vert a été mis en place au Canada, les activités de DD s'inséraient dans divers programmes (foresterie, agriculture, pêches durables) sans lien explicite avec le changement climatique. À mesure que le Canada s'ajuste aux défis des politiques de l'après-Kyoto, il est important de remarquer que ce clivage demeure.

CONSÉQUENCES DE LA SÉPARATION DES QUESTIONS DE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Il y a un certain nombre de conséquences à la séparation du CC et du DD. Nous nous concentrerons principalement sur trois problèmes : 1) implications pour l'analyse des scénarios; 2) séparation de l'atténuation et de l'adaptation dans la recherche et la prise de décisions en matière de CC; et 3) rapports entre la science et la politique.

Scénarios de l'avenir

Toute discussion sur le CC ou le DD exige d'envisager les conditions futures possibles : impacts, échanges, conséquences et options politiques. Toutefois, la chose a pris une forme différente dans la littérature sur les deux sujets.

Dans le domaine du DD, et témoignant de son optique plus politique et qualitative, la plus grande partie de la littérature porte sur la description des problèmes environnementaux, l'évaluation des méthodes ou instruments de politiques actuels ou envisagés, l'analyse théorique ou conceptuelle d'idées comme le capital naturel, l'examen des attitudes ou du comportement du public dans divers milieux, l'élaboration d'indicateurs de durabilité, la discussion de problèmes d'éthique et de distribution, etc. Il existe aussi une tradition d'analyses de scénarios quantitatifs remontant à la parution de *Limits to Growth*, au début des années 1970 (Meadows, *et al.*, 1972). L'accent mis particulièrement sur les problèmes de l'énergie dans les années 1970 et 1980 a donné lieu à une série d'études sur les énergies douces inspirées par Lovins (1976). À la fin des années 1980, l'attention s'est portée plutôt sur une analyse plus générale des futurs durables (Svedin et Aniansson, 1987; Robinson, 1996).

Plus récemment, le Groupe sur les scénarios mondiaux (Gallopín *et al.*, 1996) a analysé plusieurs scénarios très divergents, y compris deux sur la *Barbarisation* : Rupture et Monde forteresse, et deux autres sur les *Grandes transitions* : Éco-communalisme et le Nouveau paradigme de durabilité. Le premier groupe incorpore des conflits croissants, qui pourraient entraîner un essor démographique et économique importants à court terme (Monde forteresse) et une augmentation à court terme et un déclin à long terme (Rupture). Les deux autres marquent une forte amélioration de la technologie et de l'environnement, avec un essor démographique et économique à court terme suivie d'un plateau (Nouveau paradigme de durabilité) ou un déclin à long terme (Éco-communalisme). Dans ces scénarios, par rapport à ceux de développement plus traditionnels, les parts régionales des marchés mondiaux pour l'alimentation et d'autres biens changent d'une manière importante, en s'orientant vers une plus grande équité.

Il faut toutefois prendre deux points de ces scénarios en considération. Tout d'abord, cette tentative (et les précédentes) d'analyse de futurs biens différents de ce que suggèrent les tendances actuelles ont peu d'impact sur la prise de décisions en matière de DD (Baumgartner et Midttun, 1987). Ensuite, et ce qui nous rapproche de la présente communication, les changements régionaux, qui peuvent être énormes, des tendances des émissions de GES, ainsi que des coûts des impacts et de l'adaptation du CC, n'ont pas attiré beaucoup d'attention (Langeweg et van Woerden, 1997; Tol, Fankhauser et Smith, à venir).

Dans le domaine du CC, l'utilisation de l'analyse de scénario est bien plus essentielle pour l'exercice, étant donné que toute l'approche de modélisation dépend des scénarios sous-jacents des moteurs socio-économiques du changement climatique. Le GIEC a créé six scénarios d'émissions (Alcamo *et al.*, 1995), IS92a à f, y compris le scénario IS92a statu quo, bien connu, qui postule une croissance annuelle globale de 1,68 % pour la période 1990-2020. Le scénario le plus optimiste quant aux taux d'émissions réduites est l'IS92c, avec un taux de croissance économique de 0,56 %, alors que le scénario le plus pessimiste, l'IS92e, représente un taux de croissance de 2,39 %. Les six scénarios supposent une efficacité améliorée (baisse du rapport énergie/unité de PIB), mais cela ne compense pas les effets sur les émissions de la croissance de la population et du PIB. L'IS92c reflète des taux de croissance relativement plus lents de la population, du PIB par habitant et du PIB. Les scénarios du GIEC intègrent également les émissions liées à l'utilisation des terres, à partir principalement des taux présumés d'expansion de la déforestation et de l'agriculture dans les pays tropicaux.

Toutefois, malgré le mandat explicite du GIEC d'inclure le DD dans son évaluation, ses scénarios sont des variantes des scénarios classiques de statu quo. Ils ne prennent pas en considération les autres avenues de développement, telles que celles des analyses du DD mentionnées ci-dessus. En outre, en présentant les scénarios de cette manière, les analyses du GIEC, et en fait l'ensemble de la littérature sur le CC, offrent une image fallacieusement étroite du potentiel de futurs très différents.

Malgré ces restrictions, les scénarios du GIEC sous-tendent à peu près toute l'analyse des coûts d'atténuation des GES, de leurs incidences et de l'adaptation à ceux-ci. Ces coûts estimatifs sont repris en grande partie dans le débat politique sur les stratégies d'atténuation et d'adaptation, et sur les réponses de politiques à l'évolution du climat. Cela signifie que le débat est régi par des

opinions artificiellement étroites et donc fallacieuses sur les options disponibles et sur l'importance du contexte socio-politique et « culturel » dans lequel les décisions, y compris celles des politiques en matière de climat, devront être prises.

La situation qui en résulte est ironique. Les facteurs qui rendent les scénarios de CC du GIEC politiquement acceptables, une vue « scientifique » des « forces agissantes » humaines et des scénarios d'un avenir inchangé, les rendent aussi politiquement moins utiles en bout de ligne. Ils semblent cependant avoir plus de poids du point de vue politique que beaucoup d'autres scénarios de DD qui prennent en compte les questions de DD que le GIEC n'a pas inclus dans son analyse. Le traitement de ces problèmes (existence de plusieurs bases de référence, ou d'autres avenues de développement technologique et social) exigerait toutefois d'incorporer dans l'analyse une orientation plus sociale et même une perspective fondée sur les humanités.

Pour être juste, on doit dire que ces préoccupations ne sont pas passées inaperçues, même au sein du GIEC. Comme on le voit dans le rapport du GT III :

La question n'est pas que les prévisions ou scénarios individuels de cas de base sont entachés d'incertitude quant aux paramètres exogènes, comme les taux de croissance démographique ou économique. C'est qu'il y a toute une gamme d'avenues de développement socio-économiques bien différentes qui pourraient se traduire par divers scénarios d'émissions et coûts d'atténuation... il semble clair que nous devons améliorer notre capacité d'explorer des avenues de développement et des configurations technologiques à long terme qui soient très différents de ce que nous avons connu dans les dernières décennies. (Hourcade *et al.*, 1996, p. 279-289).

Les autres avenues de développement et la mondialisation du commerce ne faisaient pas partie de l'exercice des scénarios sur les émissions, mais le GIEC a noté que de nouveaux scénarios dans ce domaine devraient prendre la forme de scénarios intégrés du changement planétaire (Alcamo *et al.*, 1995). Il a donc conclu que les hypothèses de croissance démographique et économique, de coûts d'énergie et d'amélioration technologique faites par les scénarios IS92, utilisés dans le premier et le deuxième rapport d'évaluation, débouchent sur une gamme plus restreinte d'estimations des émissions que celle des autres scénarios publiés. Il pourrait en être de même pour les coûts des incidences, les vulnérabilités régionales et l'adaptation, mais cela n'est pas certain⁶.

La séparation de l'atténuation des impacts et de l'adaptation

Une importante caractéristique de la littérature sur le CC est la dichotomie marquée entre l'analyse de l'atténuation et celle des impacts et de l'adaptation. Une grande importance a été

⁶ Rob Swart (1997), seule personne à être à la fois membre du Groupe sur les scénarios globaux et du Groupe des scénarios du GIEC, nous a indiqué que le GIEC travaille actuellement à produire une plus large gamme de scénarios, qui seront examinés pour son troisième rapport d'évaluation.

accordée à la première⁷, tant pour ce qui est du financement de la recherche que de l'importance qui lui est donnée dans les politiques. Cette distinction était présente dans le premier rapport d'évaluation du GIEC, n'a pas été suffisamment comblée dans le deuxième, et se retrouvera probablement dans la structure de base du troisième. On la retrouve aussi dans de nombreuses structures décisionnelles gouvernementales, où l'atténuation du changement ne relève pas des mêmes organismes que l'évaluation des impacts et l'adaptation. Au Canada, par exemple, l'atténuation relève principalement de Ressources naturelles Canada, qui est responsable de la politique énergétique, tandis que les impacts et l'adaptation relèvent d'Environnement Canada.

Cette distinction tient beaucoup à la manière dont le problème du CC a été défini. Comme on l'a vu ci-dessus, le CC a toujours été conceptualisé en termes d'une chaîne de causes à effets, les forces socio-économiques aux incidences, en attachant une grande importance à la science des processus en jeu dans l'atmosphère. Cela mène naturellement à une séparation conceptuelle entre les problèmes d'atténuation et ceux des impacts et de l'adaptation. Cela entraîne également une séparation institutionnelle à incidences socio-politiques importantes. Les problèmes d'atténuation sont très liés à la politique énergétique et à l'industrie de l'énergie. Les incidences et l'adaptation font intervenir un éventail d'intervenants et d'intérêts beaucoup plus large (Cohen, 1997a, 1997b). L'attention portant beaucoup plus sur l'atténuation, le débat de politiques publiques sur le CC a visé presque entièrement la réduction des émissions et la politique énergétique, malgré le fait que pour ce qui est de la valeur de l'information, nous y gagnerions beaucoup plus en investissant davantage dans l'élément des évaluations du CC qui vise les impacts (Nordhaus et Popp, 1997)⁸.

Les politiques d'atténuation et d'adaptation feront bien sûr partie d'une vaste gamme de mesures adoptées en réponse à un certain nombre de problèmes. Le changement climatique ne peut pas être traité séparément. Beaucoup de mesures d'atténuation, telles que certains programmes d'efficacité énergétique, peuvent réduire les incidences et constituer en soi des stratégies d'adaptation. Ce qui est plus important, de nombreuses mesures d'atténuation et d'adaptation seront adoptées pour des motifs qui n'ont rien à voir avec le changement climatique. La restructuration de l'industrie énergétique, régie par des facteurs économiques à peu près sans lien avec le changement climatique, aura des effets bien plus importants sur l'atténuation et l'adaptation que toute politique unique spécifiquement conçue en réponse à ces questions.

Cela laisse à penser qu'il serait peut-être plus profitable de considérer les réponses d'atténuation et les impacts comme des éléments d'un processus plus vaste d'adaptation, qui se fait continuellement dans les sociétés humaines, qu'il y ait ou non un changement climatique. Le changement climatique en soi peut être vu comme un facteur critique de ce grand processus d'adaptation. On peut alors combiner les incidences, l'atténuation et l'adaptation traditionnelles en une perspective beaucoup plus riche du changement social.

Une telle façon d'envisager l'adaptation permet aussi de relier les discussions sur le CC et le DD. En ajoutant un but humain au tableau plus général du comportement adaptatif (c.-à-d. en

⁷ Il faut aussi noter que, dans la seconde, on s'est attaché beaucoup plus aux impacts qu'à l'adaptation, bien que la situation soit en train de changer à mesure que le potentiel de l'adaptation pour réduire les impacts est de plus en plus reconnu.

reconnaissant que l'activité humaine est toujours guidée par un certain but conscient), il est alors possible de reconnaître la prééminence croissante du but du développement durable ou de la durabilité dans le discours des politiques publiques. Cela veut dire, au moins au niveau rhétorique, que le DD est un but important, vers lequel s'oriente le comportement adaptatif. De ce point de vue, le CC est un problème important, qui peut être crucial, mais aussi une occasion qui influera sur la capacité des sociétés humaines à réaliser le DD.

Rapports entre la science et les politiques

Comme nous l'avons suggéré ci-dessus, les orientations des politiques et l'utilisation de la science dans la formulation de celles-ci ont aussi été influencées par la séparation actuelle des écoles de pensée du CC et du DD. La situation va au-delà de la séparation institutionnelle de responsabilités comme on l'a vu ci-dessus.

Quel que soit le contexte institutionnel, le CC a été défini en termes scientifiques étroits, comme un problème d'émissions dans l'atmosphère manifestement détachées de leur contexte social. Il s'en est suivi une focalisation analytique étroite sur l'étude du CC, ce qui a échappé au DD, où les débats très politisés ont visé des questions fondamentales, mais ont été si intenses qu'il a été difficile de s'entendre même sur des questions apparemment simples, comme la définition du DD. En excluant les questions qui sont de toute évidence sociales ou politiques, le réductionnisme scientifique du CC a rendu le consensus possible, mais les résultats sont en quelque sorte non pertinents. Les choses dont on peut être scientifiquement certain ne sont pas nécessairement les plus importantes à connaître. Ainsi, par exemple, la science du CC peut s'entendre sur les sources physiques des émissions de carbone, mais seulement en refusant d'examiner la question beaucoup plus importante et profondément politique des raisons de leur augmentation et de la manière (s'il y en a une) dont on peut les réduire. Mais, même dans le cadre relativement étroit de la science de l'atmosphère, le réductionnisme peut nuire à la compréhension. Il y a un certain nombre d'autres problèmes atmosphériques (époussage de la couche d'ozone, pluies acides, etc.) qui interagissent avec la question du CC lié au carbone. Cette réalisation a conduit à repenser la manière dont la science de l'atmosphère peut aider à intégrer les problèmes atmosphériques (Maarouf et Smith, 1997; Munn et Maarouf, 1997).

Tant que l'on considérera le CC seulement sous l'angle de la climatologie, la contribution de la science aux politiques ne sera transmise que par des modèles et recherches en matière de climat. La réduction des incertitudes en climatologie ne permettra cependant de lever celles qui pèsent sur les impacts et les stratégies de réponse, qui ont des composants physiques, biologiques, économiques et sociaux complexes dépassant largement l'expertise des sciences atmosphériques. La restructuration du GT III du GIEC en 1992, qui a délaissé les stratégies de réponse au profit d'une évaluation plus large des problèmes intersectoriels (y compris les scénarios d'émissions, l'équité et les considérations d'ordre social, les EI, et les cadres de décision), visait à situer les perspectives socio-économiques dans le contexte du développement durable (Bruce *et al.*, 1996). Cela représentait un progrès, mais, comme nous l'avons fait remarquer, les buts fixés dans ce domaine n'ont pas été atteints en pratique dans le deuxième rapport d'évaluation. En outre, les plans initiaux indiquent que le troisième rapport d'évaluation revient à l'ancienne dichotomie des impacts, d'une part, et de l'adaptation et de l'atténuation, d'autre part.

Si des bases scientifiques solides ne suffisent pas à saisir les questions de CC pertinentes, serait-ce parce que le CC est un cadre trop restreint? En Amérique du Nord, le débat se tourne vers un équilibre des avantages économiques d'une poursuite des émissions de GES et leurs coûts potentiels, mesurés en impacts de PIB sur l'économie, et les risques potentiels d'un changement climatique planétaire catastrophique. Mais qu'en est-il des ressources renouvelables, des effets non commerciaux, du développement régional, du commerce, de l'aide, de l'équité Nord-Sud, de la responsabilité envers les générations futures? L'accent (régé par la science) placé sur les émissions proprement dites a rendu difficile de poser ces questions. Elles sont au coeur même du DD, mais, sans la rigueur analytique de la science du CC, il est difficile de concentrer l'attention sur elles, ou même de les définir sans ambiguïté comme des problèmes sur lesquels nous devrions tous convenir de nous pencher.

Ces problèmes sont compliqués par la question du rôle et de la situation des connaissances scientifiques au sein du processus des politiques. En se cantonnant dans un discours « scientifique », qui sépare la science des valeurs et des politiques, le domaine du CC a essayé de profiter du prestige accordé à la compréhension du monde par le biais des sciences physiques et naturelles⁹. Toutefois, comme nous l'avons suggéré plus haut, cela s'est fait au détriment des questions sociales, politiques, culturelles, éthiques et autres qui sont essentielles pour aborder les questions de CC de manière significative, mais qui relèvent des sciences sociales et des humanités, plus floues. Dans la littérature sur le DD, on se penche beaucoup sur ces problèmes, mais le manque de consensus manifeste et la nature beaucoup plus politique du débat ont grandement affaibli sa capacité de fournir des conseils faisant autorité en matière de politiques.

Le débat de l'avant-Kyoto donne un bon exemple de ce qui peut arriver lorsque les questions de politiques régies par la science atteignent le stade où les décisions doivent être prises. Au Canada comme ailleurs, les discussions sur les coûts des mesures de politiques sont devenues très ardentes, avec de sombres prévisions d'énormes pertes économiques, et s'accompagnant d'attaques de la science (surtout la science de l'atmosphère) afin de discréditer la base de ces mesures (p. ex., Jones, 1997). Alors que les incertitudes scientifiques ont été un prétexte pour retarder la prise de mesures, les opposants à ces mesures étaient plus que désireux d'attribuer un haut niveau de certitude aux projections des conséquences de mesures (prématurées).

Mais quel degré de certitude doit-on avoir? La réponse est nécessairement un jugement de valeur. La situation laisse donc prévoir l'impossibilité de faire une distinction absolue entre science et objectivité d'une part, et politiques et valeurs de l'autre. Puisque l'interprétation des faits, qui détermine l'existence même de tout fait scientifique, fait toujours intervenir un certain élément de jugement humain, l'entière dualité science-politique est fautive (Demeritt, 1996). La ligne de

⁹ La tentative explicite de séparer les questions de science et de valeur dans les activités du GIEC ne l'a pas empêché de s'enliser dans une controverse sur les valeurs éthiques et les questions d'équité intégrées dans l'analyse de la valeur d'une vie statistique. Ironiquement, la tentative faite par les auteurs de défendre leur analyse sur la base de la neutralité de valeur a empiré le problème (Pearce, 1996). Cela laisse à penser que, même si c'était souhaitable, la séparation de la science et des valeurs ne peut pas être maintenue dans l'analyse des questions d'impact et d'atténuation liées au changement climatique.

pensée du CC a engagé des scientifiques et des décideurs dans des négociations profondément politiques sur l'interprétation des données, comme dans la déclaration de prépondérance des preuves du GIEC, le sens de l'incertitude scientifique et l'attribution de la responsabilité de trancher ces questions (Shackely et Wynne, 1996,1997). Il pouvait difficilement en être autrement. La difficulté n'est pas tant que la solution à ces questions est politique de bien des manières, mais plutôt que nous avons prétendu qu'elle ne devait pas l'être. Cette problématique science-politique a servi à écarter les discussions du DD, plus centrées sur les humains, des débats politiques, malgré leur pertinence vis-à-vis de questions de politiques pressantes, parce que leur nature chargée de valeurs n'est pas considérée comme scientifiquement crédible. Ses effets sur la science du CC n'ont pas été moins destructeurs. Bien que l'illusion que la science pourrait donner une base objective aux politiques de CC ait recueilli un grand poids politique, elle a aussi ouvert la porte aux attaques amèrement partisans de la science du CC qui caractérisent l'actuel débat aux États-Unis et au Canada, où des scientifiques, comme Ben Santer, auteur principal du chapitre 8 du second rapport d'évaluation du GT I, a fait l'objet d'attaques personnelles (Feder, 1996).

Rayner et Malone (1998) avancent que les questions de CC devraient être couplées aux questions de résilience de la société, dont le développement économique, la restructuration institutionnelle et l'élaboration de stratégies de réponse multiples. On pourrait ainsi intégrer le CC dans les cadres décisionnels des gouvernements. Comment la recherche peut-elle aider à y arriver? Vu la complexité des problèmes planétaires en jeu, il n'est pas question de recourir à l'expertise des sciences naturelles. Le défi est de rendre ces connaissances plus politiquement pertinentes aux problèmes humains, comme le DD, tout en restant crédibles, comme le CC. Plutôt que d'essayer d'isoler encore plus la science du processus politique, nous proposons d'impliquer de façon plus intelligente dans la pratique de la science (formulation d'hypothèses, collecte, analyse et interprétation des données) les utilisateurs des connaissances scientifiques et ceux qui seront touchés par les décisions de politiques guidées par la science.

BESOINS EN RECHERCHES : NOUVEAUX CADRES CONCEPTUELS

Étant donné les préoccupations ci-dessus, comment pourrions-nous rapprocher les écoles de pensée, actuellement séparées, sur le CC et le DD? Sera-t-il possible de combler les lacunes entre la conception plus mondiale, objective et scientifique du changement climatique et une façon d'aborder le développement durable plus locale, normative et axée sur le problème? Et pouvons-nous nous assurer que ce rapprochement se fasse d'une manière qui souligne les points forts de chacun plutôt que d'exacerber leurs faiblesses?

Pour mieux intégrer le CC et le DD, il faut apprécier de quelle manière les efforts de la recherche sur le CC et le DD ont contribué à leur séparation. En définissant le CC et d'autres stress environnementaux mondiaux comme des problèmes relevant des sciences naturelles, cet accent sur la science naturelle a entravé le développement de nouveaux outils et méthodes d'évaluation des volets économiques et sociaux de ces problèmes. La communauté des chercheurs en science sociale ne s'est pas engagée dans la même mesure que ses cousins biologistes et physiciens. Cette situation a été reconnue au niveau international, et la tentative de revitalisation du PIDH en est un signe positif. Le CC et le DD ont été des éléments explicites du programme et on devrait étudier davantage cette avenue.

En vue d'intégrer la recherche sur le CC et le DD, il faut commencer par étudier la manière dont sont produits et utilisés les scénarios d'avenir qui sous-tendent l'analyse du CC et du DD. Il semble évident qu'il serait souhaitable d'élargir les analyses de scénarios du CC pour englober une image plus riche des dimensions socio-économiques, politiques, historiques et culturelles du comportement et des choix humains. Nous sommes en fait à la poursuite d'images ou visions intégrées de l'avenir qui comprennent un éventail élargi de futurs possibles, y compris ceux qui représentent des développements bien différents de ce que l'on considérerait comme probable. Il n'est donc pas surprenant que Schneider (1989) et Oppenheimer et Boyle (1990) commencent leur texte sur le CC par une description de ce à quoi le monde pourrait ressembler au milieu du siècle prochain, dans un nouveau climat. Ils avaient ainsi un contexte permettant de discuter nombre des aspects plus techniques du problème du CC.

Pour réaliser cet objectif, nous devons étudier la question plus vaste de l'évaluation intégrée. Ce domaine a fait des progrès énormes dans le développement d'une science interdisciplinaire et essaie de donner à la recherche scientifique une pertinence en matière de politiques. Toutefois, en pratique, le domaine a adopté une optique plutôt étroite, en soulignant dans la plupart des cas le développement de grands MEI quantitatifs (Parson, 1995; Risbey *et al.*, 1996). Un seul, le modèle du PNR des Pays-Bas, TARGETS (Outil pour évaluer les cibles mondiales de l'environnement et de la santé), a consciemment élargi son horizon au-delà du changement climatique (Rotmans et de Vries, 1997). Certains progrès ont été faits pour que ces modèles soient intégrés dans une forme d'analyse plus vaste. Un exemple en est le projet ULYSSES (Évaluation intégrée des modes de vie urbains, de la durabilité et de l'environnement), mené en Europe occidentale et en Amérique du Nord, qui utilise les MEI de concert avec un groupe d'intérêt et des exercices de politiques (Jaeger *et al.*, 1995). Un autre est l'application d'un MEI dans une série d'ateliers sur les négociations visant le climat aux Pays-Bas (Van Daalen et Grunfeld, 1996). Toutefois, ces efforts en sont à leurs débuts et les résultats de cette démarche ne sont pas encore connus.

Nous avons présenté ailleurs un cadre portant sur la nature intégrative des EI et sur leur utilité pour les politiques, avec une réalisation de leur rôle et de leurs capacités (Rothman et Robinson, 1997). Nous proposons une forme idéale d'EI qui va au-delà de ce que l'on trouve généralement dans les analyses existantes. Il s'agit de passer des chaînes d'analyse linéaires à de plus complexes, d'agents non adaptatifs à des agents adaptatifs dans l'idéal puis adaptatifs dans la réalité, de l'examen simpliste à l'examen complexe puis à l'examen pluraliste des autres voies de développement, d'analyses strictement quantitatives à des analyses quantitatives et qualitatives, d'analyses basées sur la science à des analyses basées sur les politiques et d'analyses qui dirigent les utilisateurs à des analyses qui les font participer au processus d'évaluation réel. C'est ainsi que nous arriverons à des EI de forme et de processus plus riches.

Quelques points doivent être soulignés pour la mise en oeuvre d'une étude qui suivrait le genre de cadre que nous proposons :

- Il est plus facile et sans doute nécessaire de le faire dans le contexte d'endroits : beaucoup des rapports clés et des conflits potentiels qui doivent être compris pour mieux saisir les impacts du changement climatique et d'autres grands changements environnementaux, sociaux et économiques seront caractéristiques de zones géographiques particulières.

- Il faut avoir des connaissances, des compréhensions et des visions locales : cela découle du point précédent. Beaucoup de détails ne pourront être saisis qu'en comprenant bien la région à l'étude. Une grande partie de cette connaissance se situera à l'extérieur de la compréhension scientifique traditionnelle et entrera plutôt dans le domaine de la sagesse et des connaissances traditionnelles.
- Alors que les deux points précédents suggèrent une échelle d'analyse régionale, une telle recherche doit être située dans un contexte mondial : aucune région géographique n'est vraiment isolée et nombre des forces et de changements apparaîtront en de nombreux endroits. Ainsi, ce qui se passe à l'extérieur des frontières aura une grande influence.
- Il faut également inclure des problèmes sociaux beaucoup plus larges, sans toutefois négliger les aspects environnementaux importants, c'est-à-dire le changement climatique et les questions énergétiques. C'est important pour que les exercices proposés soient complets et cohérents. Essayer de comprendre les impacts du changement climatique sans prendre en considération ce qui arrive ailleurs ne donnera qu'une image incomplète qui n'aura rien à voir avec la réalité. En même temps, négliger d'importants aspects et rétroactions environnementaux donne aussi une image de l'avenir très disparate.
- Cela ne peut se faire uniquement avec des modèles, particulièrement avec un modèle intégré : les problèmes et rapports sont tout simplement trop complexes. Les modèles tendent également à avoir deux biais de principes : 1) un biais « exclusiviste » par lequel des informations et connaissances sont exclues, non pas parce qu'elles ne sont pas importantes, mais surtout parce qu'il est difficile ou impossible de les inclure dans des modèles formels quantitatifs, et 2) un biais de « concrétisme mal placé » par lequel la nature scientifique et objective des modèles confère une validité excessive à leurs résultats. On retrouve ici les préoccupations exprimées plus haut sur les déséquilibres entre les travaux précédents sur l'atténuation et ceux sur les impacts et l'adaptation.

Au-delà des travaux de Schneider (1989), d'Oppenheimer et Boyle (1990) et du groupe des scénarios mondiaux (Gallopin *et al.*, 1996), il existe d'autres exemples dont nous pouvons tenir compte dans le développement d'un nouveau cadre d'analyse. Robinson *et al.* (1996) ont utilisé un grand modèle entrée-sortie de l'économie canadienne pour aider à construire un scénario d'un Canada durable en l'an 2030, mais ceci a été fait en conjonction avec une grande quantité d'autres analyses quantitatives et qualitatives. Dans le cadre du Projet 2050-Transitions vers la durabilité, Nagpal et Foltz (1995) ont recueilli une série d'essais et d'entrevues, provenant surtout de personnes de pays en développement, concernant leurs espoirs et leurs rêves pour leurs régions et leurs enfants au milieu du siècle prochain. Yergin et Gustafson (1993) ont exploré les futurs à moyen terme pour la Russie et dans les autres pays autrefois soviétiques. Ces travaux sont intéressants, car ils ont commencé sous la forme d'une étude traditionnelle sur l'énergie, mais les auteurs se sont vite rendus compte qu'il est impossible de s'avancer sur l'avenir de l'énergie dans cette région sans toucher au contexte social plus vaste. À la fin des années 1980, un exercice d'analyse créative de scénarios (Svedin et Anianson, 1987) a débouché sur l'élaboration d'un ensemble de « futurs surprenants ». Finalement, le Groupe de scénarios de Royal Dutch/Shell et sa

suite, The Global Business Network, ont exploré divers scénarios liés à la durabilité (Tibbs, 1996)¹⁰.

Nous ne voulons pas dire que les MEI ne conviennent pas à l'étude de nombre des problèmes liés au CC ou au DD. Toutefois, si ces modèles d'évaluation doivent continuer de contribuer à ces dialogues et aider à les rapprocher, il faut qu'ils évoluent pour être des outils plus heuristiques pour les usagers et moins des machines de vérité. Deux efforts de modélisation actuels donnent des exemples de cette nouvelle façon de faire. Le premier modèle, mentionné ci-dessus, est TARGETS, développé par le PNR des Pays-Bas. Le second est QUEST (Outil utile du scénario écosystémique), élaboré par le Sustainable Development Research Institute à l'Université de la Colombie-Britannique (Rothman *et al.*, 1996). Au lieu d'essayer de prédire ou de prévoir, ces outils sont destinés à aider les utilisateurs à explorer divers futurs. Ils soulignent tous deux les incertitudes de notre compréhension du comportement des systèmes dynamiques complexes sous-jacents qu'ils représentent. En outre, ils sont tous deux destinés à être utilisés interactivement par des profanes, avec une aide minimale d'experts.

À l'heure actuelle, ces outils sont utilisés dans des exercices examinant les possibilités de rassembler chercheurs et intervenants. Parmi les projets actuels figurent ULYSSES, CLEAR (Climat, Énergie et Régions alpines, en Suisse) et VISIONS (Visions intégrées pour une Europe durable) (Pahl-Wostl, 1997; VISIONS, 1997).

Il faut cependant noter que l'utilisation de modèles, même dans des contextes plus vastes, n'est pas le seul moyen ni le meilleur de traiter des questions sociales, économiques et environnementales à long terme. L'Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie et les Études sur le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent sont deux études canadiennes d'évaluation intégrée des incidences du CC, qui n'étaient pas fondées exclusivement sur les MEI et, dans aucun des deux cas, l'effort d'intégration ne visait un modèle à grande échelle. L'intégration a été faite en essayant de relier les divers chercheurs (à l'aide de petits modèles et d'autres méthodes) et en essayant de forger des liens entre les chercheurs et les divers intervenants (Cohen, 1997b; Mortsch et Mills, 1996). On peut envisager des méthodes ou des démarches narratives pour l'intégration du CC et du DD.

Ainsi, bien que nous partagions nombre des objectifs des modèles d'évaluation intégrée, nous sommes en faveur d'un plus grand pluralisme méthodologique en ce qui concerne les outils utilisés face à des problèmes tels que le changement climatique et le développement durable. Il est malheureux que, surtout dans l'école de pensée du changement climatique, il y ait une forte tendance à traiter les EI et les MEI comme s'ils étaient équivalents (Frederick, 1994; Mendelsohn et Rosenberg, 1994; Toth, 1995; Dowlatabadi, 1994). Même dans les cas où est admise la distinction entre les MEI et les EI, la discussion tourne souvent en une discussion des MEI (p. ex., Weyent *et al.*, 1995; Tol, à venir; Parson, 1995; Rotmans *et al.*, 1995:6).

¹⁰ Les membres du groupe de scénarios de la Royal Dutch/Shell ont aussi participé à l'élaboration de scénarios du GIEC pour le troisième rapport d'évaluation (Swart, 1997).

CONCLUSION

Le changement climatique et le développement durable ont fait l'objet d'études très séparées, ce qui a entravé la formation de solides maillages de travail entre les milieux de la recherche et des politiques. Et cela est vrai au niveau tant international que national.

Le CC a été caractérisé par des efforts de recherche considérables, surtout en sciences naturelles, alors que les efforts de recherche en DD ont été assez faibles. Par ailleurs, les mesures de politiques visant le DD ont attiré beaucoup d'appui de par le monde (même si le DD peut avoir des sens différents selon les intervenants), tandis que les principaux instruments de politique du CC, la CCCC des Nations Unies et le Protocole de Kyoto, continuent de rencontrer l'opposition de nombreux pays.

On ne réglera pas le problème en excluant les valeurs de l'analyse du CC et du DD pour en augmenter la rigueur, et donc l'impact en matière de politiques. Cela reviendrait à masquer les questions de valeurs qui sont au coeur même des débats sur le CC et le DD. On ne le réglera pas non plus en démolissant continuellement les structures de recherche et de politiques du CC et du DD, ni par l'allégation qu'on peut les ramener à des débats sur des questions de valeurs fondamentales. Ce serait une recette d'inaction.

La réponse se situe en partie dans la reconnaissance qu'il n'est pas approprié d'appliquer les normes des sciences naturelles d'analyse, de vérification et de preuve à des questions qui relèvent uniquement du domaine des sciences sociales et des humanités, et vice versa. Autrement dit, il est inutile d'espérer que l'analyse de l'éthique, ou même des coûts, de l'atténuation du changement climatique se prête aux mêmes normes d'analyse et d'évaluation qui s'appliquent aux mesures de la température du globe. Des façons d'aborder la question de la compréhension du CC et du DD à la fois qualitatives et quantitatives, « représentatives » et « discursives »¹¹ sont indispensables, et il ne sert à rien d'essayer de les fusionner¹².

Cette disjonction entre deux grandes questions intrinsèquement liées est inutile et ne devrait pas exister. On espère que les idées exprimées ici aideront à rapprocher les deux écoles de pensée. Nous voudrions rappeler au lecteur les trois grands points suivants :

- La science est politique, et de façon importante. Le changement climatique est un hybride entre la science interdisciplinaire et le couplage science-politique. Nous devons être conscients des incidences sociales et politiques des descriptions scientifiques du changement climatique (lorsque les problèmes sont définis). La science est un processus social et pourtant les scientifiques prétendent souvent le contraire.
- Le développement durable a incorporé les différences de valeur dans les débats quant aux orientations futures, mais il faudra davantage de rigueur analytique et intellectuelle (méthodes, indicateurs, etc.) pour que ce concept puisse passer de la théorie à la pratique.

¹¹ Nous avons tiré cette formulation de la distinction d'une conversation avec Ted Parson.

¹² Cette question est discutée plus à fond dans Robinson et Timmerman (1993).

- L'évaluation intégrée et, surtout, ses modèles ont été et continueront d'être des manifestations hautement visibles de notre désir de trouver des outils analytiques puissants qui fourniront aux décideurs des conseils scientifiques sur le changement climatique et le développement durable. Toutefois, l'évaluation intégrée ne peut se limiter à fabriquer des *modèles* pertinents pour les décideurs. L'évaluation intégrée doit aller au-delà de modèles pour embrasser l'objectif plus vaste de faciliter le consensus entre un large éventail de chercheurs et d'intervenants.

RÉFÉRENCES

Arrhenius, S.A. 1896. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41, p. 237-276.

Alcamo, J., Bouwman, A. Edmonds, J., Grubler, S., Morita, T. and A. Sugandhy. 1995. An evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios. In Houghton et al. (eds.) *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*, Cambridge University Press, p. 247-304.

Alcamo, J., G.J.J. Kreileman, J.C. Bollen, G.J. van den Born, R. Gerlagh, M.S. Krol, A.M.C. Toet and H.J.M. H.J.M. de Vries (1996). Baseline scenarios of global environmental change. *Global Environmental Change*, 6, 4, p. 261-303.

Arrow, K.J., W.R. Cline, K.-G. Maler, M. Munasinghe, R. Squitieri and J.E. Stiglitz (1996). Intertemporal Equity, Discounting, and Economic Efficiency. In Bruce, J.P., H. Lee and E.F. Haites (eds.) *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*, Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, p. 125-144.

Banuri, T., K. Göran-Mäler, M. Grubb, M., Jacobson and F. Yamin. 1996. Equity and Social Considerations. In Bruce, J.P., H. Lee and E.F. Haites (eds.) *Climate Change (1995): Economic and Social Dimensions of Climate Change*, Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, p. 79-124.

Baumgartner, T. and A. Midttun (eds.) (1987). *The Politics of Energy Forecasting: A Comparative Study of Energy Forecasting in Western Europe and North America*. Clarendon Press, New York, 314 p.

Beaulieu, P. (1997). The VCR doesn't work. *Alternatives Journal*, 23, p. 3, 4.

Begley, R. (1996). ISO 14000: A Step Toward Industry Self-Regulation. *Environmental Science & Technology* 30, p 298A-303A.

Boehmer-Christiansen, S. 1994. A scientific agenda for climate policy? *Nature*, 372, p. 400-402.

Brown, L.R. (1981). *Building a Sustainable Society*. W.W. Norton and Co., New York, 433 p.

Brubaker, R. (1984). *The Limits of Rationality: An Essay on the Social and Moral Thought of Max Weber*. Allen & Unwin, London, 119 p.

Brundtland, CMED (1988). *Notre avenir à tous*, Les Éditions du Fleuve, Montréal, 1987, 454 p. (publié originalement par Oxford University Press sous le titre *Our Common Future*).

Buttel, F.H., AP. Hawkins and A.G. Power (1990). From limits to growth to global change: Constraints and contradictions in the evolution of environmental science and ideology, *Global Environmental Change* 1, p. 57-66.

Canada (1993). Canada's Green Plan—The Second Year. Government of Canada.

Canada (1995). Canada's National Action Program on Climate Change. Government of Canada.

Clark, W.C. and R.E. Munn (eds.) (1986). *Sustainable Development of the Biosphere*. Cambridge University Press, Cambridge, 491 p.

Cohen, S.J. (ed.) (1997a). Mackenzie Basin Impact Study Final Report. Environment Canada, Downsview, 327 p.

Cohen, S.J. (1997b). Scientist-stakeholder collaboration in integrated assessment of climate change: lessons from a case study of Northwest Canada. *Environmental Modeling and Assessment* 2, p. 281-293.

Darier, E. (1996). Environmental Governmentality: The case of Canada's Green Plan. *Environmental Politics*, 5, p. 585-606.

Delphi Group (1997). A Framework for Canada's National Circumstance Related to Climate Change. Prepared for Environment Canada, Mars, 1997, 32 p.

Demeritt, D. (à paraître). Science, Social Constructivism, and Nature. In N. Castree and B. Willems-Braun (eds.), *Remaking Reality: Nature at the Millennium*. New York: Routledge

Demeritt, D. (1996). Social Theory and the Reconstruction of Science and Geography. *Transactions of the Institute of British Geographers* 21, p 484-503.

Demeritt, D. (1991). Climate, Cropping, and Society in Vermont, 1820-1850. *Vermont History*, 50, p. 133-65.

Dobell, R., A. Fenech and H.A. Smith (comm. pers. écrite, août 1993). University of Victoria, Department of Public Administration. The Issue of Climate Change in Canada, non publié, 88 p.

Dowlatabadi, H. (1995). Integrated Assessment Models of Climate: An Incomplete Overview. *Energy Policy* 23, p. 1-8.

Duchin, F. and G. Lange (1995). The Future of the environment: ecological economics and technological change. Oxford University Press, New York, 222 p.

Eden, S.E. (1994). Using sustainable development: The business case. *Global Environmental Change*, 4, p. 160-167.

Gallopín, G., A. Hammond, P. Raskin and R. Swart (1996). *Branch Points: Global Scenarios and Human Choice*. Stockholm: Stockholm Environment Institute, 47 p.

Giorgi, F., C.S. Brodeur and G.T. Bates (1994). Regional climate change scenarios over the United States produced with a nested regional climate model. *Journal of Climate* 7, p. 375-399.

Glacken, C.J. (1967). *Traces on the Rhodian Shore: Nature and Culture in Western Thought from Ancient Times to the End of the Eighteenth Century*, University of California Press, Berkeley, 763 p.

Glantz, M.H. (1990). CO₂ winners and losers? Editorial. *Network Newsletter*, 5, p. 1.

Goldsmith, E., R. Allen, M. Allaby, J. Davoll and S. Lawrence (1972). *A Blueprint for Survival*. The Ecologist, London, 43 p.

Gribben, J.R. (1990). *Hothouse Earth: The Greenhouse Effect and Gaia*, Bantam Press, London, 272 p.

Grove, R.H. (1995). *Green Imperialism: Colonial Expansion, Tropical Island Edens and the Origins of Environmentalism*. Cambridge University Press, Cambridge, 540 p.

Hart, David M. and D.G. Victor (1993). Scientific elites and the making of U.S. policy for climate change research. *Social Studies of Science*, 23, p. 643-80.

Hinchliffe, S. (1996). Helping the earth begins at home: The social construction of socio-environmental responsibilities. *Global Environmental Change*, 6, p. 53-62.

Houghton, J.T., G.J. Jenkins and J.J. Ephraums (eds.) (1990). *Climate Change: The Scientific Assessment*. Report prepared for IPCC by Working Group I. Cambridge University Press, Cambridge, 365 p.

Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, J. Bruce, J., Lee, B.A. Callander, E. Haites, N. Harris and K. Maskell (eds.). (1995). *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge, 339 p.

Hourcade, J., R. Richels, J. Robinson, et al (1996). Estimating the Costs of Mitigating Greenhouse Gases, Chapter 8 in Bruce, J., Lee, H., and Haites, E. (eds.) *Climate Change 1995 - Economic and Social Dimensions of Climate Change*, Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, London: Cambridge University Press.

International Energy Agency (1995). *World Energy Outlook*. Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, 372 p.

Jaeger, C.C., M. Chadwick, B. Wynne, S. Funtowicz, M. Giaoutzi, S. Giner, F. Toth, J. Jager, G. Duerrenberger, J. Ravetz and C. Casilli (1995). ULYSSES: Urban Lifestyles, Sustainability and Integrated Environmental Assessment. A RTD proposal for Framework Programme IV (EC), Environment and Climate. University of Technology, Darmstadt.

Jones, L. (ed.) (1997). Global Warming - The Science and the Politics. The Fraser Institute, Vancouver, 180 p.

Kearney, A. R. (1994). Understanding Global Change: A Cognitive Perspective on Communicating through Stories. *Climatic Change* 27(4), p. 419-441.

Langeweg, F. and J. van Woerden (1997). Integrated assessment modelling: from climate change assessment to global change assessment at interlinked scales. Presented at the IPCC Workshop on Integrated Assessment Modelling, March 10-12, United Nations University, Tokyo, 15 p.

Lovins, A. (1976). "Energy Strategy: The Road Not Taken?", *Foreign Affairs*, October, 231 p.

Matsuoka, Y., M. Kainuma and T. Morita (1995). Scenario analysis of global warming using the Asian-Pacific integrated model, *Energy Policy*, 23, 4/5, p. 357-372.

Maarouf, A. and J. Smith (1997). Interactions amongst policies designed to resolve individual air issues. *Environmental Monitoring and Assessment*, 46, p. 5-21.

Meadows, D.M., D.L. Meadows J. Randers and W.W. Behrens (1972). *Limits to Growth* . Pan Books, London, 205 p.

Mendelsohn, R. and N.J. Rosenberg (1994). Framework for Integrated Assessments of Global Warming Impacts. *Climatic Change* 28, p. 15-44.

Mortsch, L. D. et B. Mills (sous la dir. de) (1996). Projet du bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent, Adaptation aux impacts du changement et de la variabilité climatiques, Rapport d'étape n°1, Downsview : Environnement Canada.

Muir, J. (1901). *Our National Parks*. Houghton Mifflin, Boston.

Munn, R.E. and A.R. Maarouf (1997). Atmospheric issues in Canada. *The Science of the Total Environment*, 203, p. 1-11.

Nagpal, T. and C. Foltz (eds.) 1995. Choosing Our Future Visions of a Sustainable World. World Resources Institute, Washington, DC, 181 p.

Netherlands NRP (1993). Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change, Interim Evaluation of the First Phase. Report no. 00-10, Programme Bureau NRP, Bilthoven.

Netherlands NRP (1994). Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change, Programming Memorandum Second Phase. Report no. II-4, NRP Programme Office, Bilthoven.

Newby, H. (1993). Global environmental change and the social sciences: Retrospect and prospect. Paper presented to the IGFA Preparatory meeting, Noordwijk, the Netherlands.

Nishioka, S., H. Harasawa, H. Hashimoto, T. Ookita, K. Masuda and T. Morita (Eds) (1993). The Potential Effects of Climate Change in Japan. Center for Global Environmental research, Tsukuba, CGER-I009-93, 93 p.

Nordhaus, W.D. and D. Popp (1997). What is the value of scientific knowledge? An application to global warming using the PRICE model. *The Energy Journal*, 28, p. 1-45.

Oppenheimer, M. and R. H. Boyle (1990). *Dead Heat: The Race Against the Greenhouse Effect*. Basic Books, Inc., New York, 268 p.

Pahl-Wostl, C. (1997). Personal E-mail Communications, Feb. 1, 1997; Senior Researcher, Department of Environmental Physics, Swiss Federal Institute Science and Technology.

Parikh, J.K. (1992). IPCC strategies unfair to the South, *Nature* 360, p. 507-508.

Parikh, J.K. and Painuly, J.P. (1994). Population, consumption patterns and climate change: A socioeconomic perspective from the South, *Ambio*, 23, p. 434-37.

Parson, E.A. (1995). Integrated assessment and environmental policy making: In pursuit of usefulness. *Energy Policy*, 23, p. 463-475.

Pearce, D.W. (1996). Climate confusion. *Environment & Planning A*, 28, p. 8-10.

Pearce, D.W., W.R. Cline, A.N. Achanta, S. Fankhauser, R.K. Pachauri, R.J.S. Tol and P. Vellinga (1996). The Social Costs of Climate Change: Greenhouse Damage and the Benefits of Control. In Bruce, J.P., H. Lee and E.F. Haites (eds.) *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*, Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, p. 179-224.

Pinchot, G. (1910). *The Fight for Conservation*. Harcourt Brace, Garden City, New York, 152 p.

Projet de société, 1995. Canadian Choices for Transitions to Sustainability. Projet de société: Planning for a Sustainable Future, Ottawa.

Rayner, S. and E.L. Malone (1998) "Ten Suggestions for Policymakers" in Rayner, S. and E.L. Malone (Eds) *Human Choice and Climate Change Vol. 4: What Have We Learned?* Batelle Press, Columbus, Ohio.

Redclift, M. (1996). *Wasted: Counting the Costs of Global Consumption*. Earthscan Publications Ltd., London, 173 p.

Risbey, J., M. Kandlikar and A. Patwardhan (1996). Assessing integrated assessments. *Climatic Change*, 34, p. 369-395.

Robinson, J.B. (ed.) (1996). *Life in 2030: Exploring a Sustainable Future for Canada*. UBC Press, Vancouver, 168 p.

Robinson, J. and P. Timmerman (1993). Myths, rules, artifacts, ecosystems: Framing the human dimensions of global change, p. 236-246, in Wright S., T. Dietz, R. Borden, G. Young, and G. Guagnano (eds), *Human Ecology: Crossing Boundaries*, Selected Papers from the Sixth Conference of the Society for Human Ecology, Snowbird, Utah, October 2-4, 1992. The Society for Human Ecology, Colorado, p. 236-246.

Rothman, D.S., J.B. Robinson and D. Biggs (1996). Signs of life: linking indicators and models in the context of QUEST. Presentation at the second workshop of the SCOPE/UNEP project on Integrated Adaptive Ecological Economic Modeling and Assessment, 31 July - 4 August 1996, Boston. Rothman, Dale S. and John Robinson. 1997. Growing Pains: A Conceptual Framework for Considering Integrated Assessment, *Environmental Monitoring & Assessment*, 46, p. 23-43.

Rotmans, J. and H. J. M. deVries (eds.) (1997). *Perspectives on Global Change: The TARGETS Approach*. Cambridge University Press, Cambridge, 463 p.

Rotmans, J., H. Dowlatabadi and E.A. Parson (1998). "Integrated Assessment fo Climate Change: Evaluation of Methods and Strategies" in Rayner, S. and E.L. Malone (Eds) *Human Choice and Climate Change Vol 4: What Have We Learned?* Batelle Press, Columbus, Ohio.

Sagoff, M. (1995). Carrying Capacity and Ecological Economics. *Bioscience* 45, p. 610-620.

Schneider, S. H. (1989). *Global Warming: Are We Entering the Greenhouse Century*. Sierra Club Books, San Francisco. 317 p.

Schwartz, P. (1991). *The Art of the Long View: Planning for the Future*. Doubleday, New York, 258 p.

Shackley, S. and B. Wynne (1997). Global Warming Potentials: ambiguity or precision as an aid to policy? *Climate Research* 8, p 89-106.

Shackley, S. and B. Wynne (1996). Representing uncertainty in global climate change science and policy: boundary-ordering devices and authority. *Science, Technology and Human Values* 21, p. 275-302.

Shackley, S. and B. Wynne (1995a). Integrating knowledges for climate change: pyramids, nets and uncertainties. *Global Environmental Change*, 5, p. 113-126.

Shackley, S. and B. Wynne (1995b). Global climate change: The mutual construction of an emergent science-policy domain. *Science and Public Policy* 22: p. 218-30.

Smith, J.B. and D.A. Tirpak (eds.) (1990). The Potential Effects of Global Climate Change on the United States. Report to Congress. United States Environmental Protection Agency, Washington, 689 p.

Strzepek, K.M. and J.B. Smith (eds.) (1995). *As Climate Changes: The Potential International Impacts of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 213 p.

Svedin, U. and B. Aniansson (eds.) (1987). Surprising Futures : notes from an international workshop on long-term world development, Friibergh Manor, Sweden, January 1986. Stockholm: Swedish Council for Planning and Coordination of Research, 128 p.

Swart, R. (1997). Communication personnelle, 18 déc. 1997. Senior Researcher, Dutch National Institute of Public Health and the Environment, Air Research Laboratory, Policy Analysis and Scenarios.

Taylor, P.J. and Buttell, F.H. (1992) 'How do we know we have global environmental problems? Science and the globalization of environmental discourse', *Geoforum* 23: p. 405-16.

Tibbs, H. (1996). Sustainability: The Source of the Crisis. Global Business Network, 11 p. (<http://www.gbn.org/scenarios/sustainability/#Author>).

Tol, R.S.J. (à paraître). "Integrated Assesesments of Cimate Change and Policy Making: Don't Beleive the Numbers," in Robert S. Chen, Chales Linville and Dale Tuttle (eds.) *Integrated Assessment of Global Environmental Change: Science and Policy: proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Integrated Assessment of Global Environmental Change: Science and Policy*," 13 octobre 1995.

Tol, R., S. Fankhauseer and J. Smith (à paraître). The Scope for Adaptation to Climate Change: What Can We Learn form the Impact Literature. *Global Environmental Change*.

Toth, F.L. (1995). Practice and Progress in Integrated Assessments of Climate Change: A Workshop Overview. *Energy Policy* 23, p. 253-268.

United Kingdom Climate Change Impacts Review Group (UKCCIR) (1996). Review of the Potential Effects of Climate Change in the United Kingdom. Department of the Environment, London, 247 p.

Van Daalen, E. and H. Grunfeld (1996). Third international workshop on using IMAGE 2 model to support climate negotiations, summary report. National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), Bilthoven, 23 p.

VISIONS (1997). *Integrated Visions for a Sustainable Europe: An Integrated Assessment Program - Work Programme Fouth Framework Programme of the European Community*, Work

Programme Environment and Climate, Theme 4: Human Dimensions of Environmental Change, 15 p.

Wackernagel, M. and W. Rees (1995). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers, Gabriola Island, BC, 160 p.

Wall, D. (1994). *Green History: a Reader in Environmental Literature, Philosophy and Politics*. Routledge, London, 273 p.

Weyant, J., O. Davidson, H. Dowlatabadi, J. Edmonds, M. Grubb, R. Richels, J. Totmans, P. Shukal, W. Cline, S. Fankhauser and R.J.S. Tol (1996). "Integrated Assessment of Climate Change: An Overview and Comparison of Approaches and Results", in Bruce, J.P., H. Lee and E.F. Haites (eds.) *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 367-396.

World Meteorological Organization (WMO) (1988). *The Changing Atmosphere*. Proceedings of the World Conference on the Changing Atmosphere—Implications for Global Security. WMO No. 710. World Meteorological Organization, Geneva, 483 p.

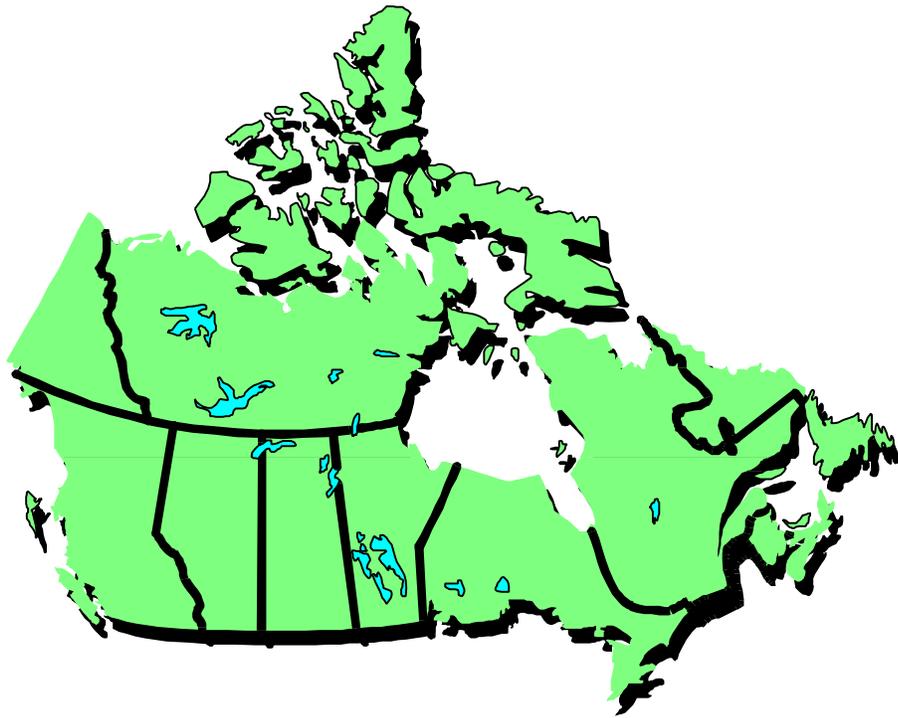
Wynne, B. (1996). SSK's identity parade: Signing-up, off-and-on. *Social Studies of Science* 26: p. 357-391.

Yergin, D. and T. Gustafson (1993). *Russia 2010 : And What it Means for the World*. Random House, New York, 300 p.

CHAPITRE HUIT

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET L'ÉCONOMIE DE SUBSISTANCE DES POPULATIONS NORDIQUES

Helen Fast¹ et Fikret Berkes²



1. Natural Resources Institute, Université du Manitoba, Winnipeg, Manitoba R3T 2N2.
Téléphone : (204) 474-8680, télécopieur : (204) 261-0038, courriel :
Helen_Fast@umanitoba.ca
2. Natural Resources Institute, Université du Manitoba, Winnipeg, Manitoba R3T 2N2.
Téléphone : (204) 474-6731; télécopieur : (204) 261-0038; courriel :
berkes@ms.umanitoba.ca

RÉSUMÉ ET RECOMMANDATIONS

Le présent exposé sur le changement climatique et les économies de subsistance nordiques est fondé sur le postulat qu'il existe, dans le Nord canadien, une économie distincte (commerciale et de subsistance), que cette économie occupe toujours une place importante et qu'il est impossible à court terme de remplacer le secteur voué à la subsistance par une économie industrielle et fondée sur des salaires. Thèmes et conclusions peuvent être répartis en trois catégories : 1) *le changement climatique peut influencer sur la distribution des animaux et d'autres ressources sur lesquelles est basée l'économie de subsistance; 2) le changement climatique peut influencer sur l'utilisation des connaissances traditionnelles et les adaptations locales; et 3) le changement climatique peut influencer sur la santé des populations nordiques par l'intermédiaire de perturbations alimentaires et de changements épidémiologiques.*

La recherche doit viser : 1) l'établissement de liens entre d'une part les données biologiques et écologiques connues sur l'impact du changement climatique et, d'autre part, l'utilisation locale des ressources et l'économie nordique; 2) l'élaboration de stratégies de gestion adaptatives axées sur la résilience des systèmes social et écologique, ainsi que sur la souplesse nécessaire pour réagir à l'incertitude et à un changement climatique très imprévisible; et 3) l'étude de la santé des populations nordiques, étant donné les effets potentiellement importants du changement climatique sur la disponibilité à long terme des aliments de chasse et de cueillette. L'analyse aboutit aux recommandations qui suivent :

1. Axer la recherche plus directement sur les impacts du changement climatique sur la disponibilité des ressources.
2. Favoriser les travaux qui permettent d'établir des liens entre les données écologiques sur les ressources et les répercussions économiques.
3. Élaborer des méthodes pour isoler les impacts du changement climatique des effets cumulatifs des aménagements à grande échelle, comme les centrales hydroélectriques.
4. Préciser les limites de l'adaptabilité des économies de subsistance nordiques.
5. Mieux comprendre les impacts non linéaires, discontinus (non graduels) et inattendus du changement climatique sur les régions nordiques.
6. Élaborer des stratégies de gestion adaptatives, fondées sur l'apprentissage des rétroactions et sur des politiques conçues comme autant d'expériences qui permettent aux gestionnaires d'apprendre.
7. Élaborer des politiques qui donnent naissance à des systèmes de gestion et à des structures où la souplesse soit inhérente.
8. Élaborer des politiques qui permettent de réagir plus rapidement, par exemple dans le cas d'urgences et de phénomènes extrêmes.
9. Rendre les systèmes de gestion et les structures plus flexibles en déléguant plus de responsabilités à l'échelle locale.
10. Reconnaître l'importance des sources locales de protéines pour le bien-être global des populations nordiques.

11. Reconnaître que l'économie mixte des communautés autochtones du Nord n'est pas une étape transitoire, mais une structure adaptative, favorisant l'autonomie. Le passage à une économie strictement fondée sur les salaires n'est de toute façon pas envisageable.
12. Élaborer des politiques favorables à l'autonomie tout en laissant place à la possibilité d'emplois salariés pour les populations nordiques.
13. Travailler à compiler les conclusions établissant des liens entre la consommation d'aliments locaux et différents indicateurs de santé.
14. Approfondir la recherche sur l'épidémiologie du changement climatique dans le Nord.
15. Concevoir des méthodes pour estimer ce que coûterait une dépendance accrue et ce qu'il en coûterait pour faciliter les adaptations potentielles.

CHAMP DE L'ÉTUDE

Les populations autochtones du Nord, qui sont déjà l'un des segments les plus vulnérables de la société canadienne, seraient affectées par des modifications des écosystèmes qui dépasseraient les limites de l'expérience. Qui plus est, si ces modifications survenaient rapidement, l'adaptation pourrait être difficile. (*Présentation du Programme canadien des changements à l'échelle du globe aux ministres canadiens de l'Énergie et de l'Environnement.*)

Le présent document concerne l'économie axée sur les ressources naturelles des populations autochtones du Nord canadien. Le sujet n'est pas propre à une région, puisque les populations visées vivent dans tout le Nord, du Labrador jusqu'aux Territoires du Nord-Ouest et au Yukon, incluant le nord du Québec, de l'Ontario, du Manitoba, de la Saskatchewan, de l'Alberta et de la Colombie-Britannique. Il englobe aussi divers types de ressources : espèces sauvages, pêche, forêts et eau. Le territoire est vaste, bien que les populations autochtones du Nord canadien soient peu nombreuses et que personne n'y vive exclusivement de la terre. Les points abordés dans ces pages concernent aussi quelques populations non autochtones d'ailleurs au Canada, notamment les populations rurales du Moyen Nord. Toutefois, aucune étude n'a encore établi le degré de dépendance des groupes non autochtones à l'égard d'une économie fondée sur les ressources.

Dans le cas des communautés autochtones, par contre, de nombreuses études ont été effectuées dans toutes les régions du Nord canadien, depuis les années 1970, sur l'utilisation du territoire et l'exploitation des espèces sauvages par les Autochtones et l'évolution socio-économique de ces derniers. Ces études sont pour la plupart étroitement liées aux revendications territoriales des Autochtones et à l'évaluation environnementale de projets d'aménagement. Elles ont établi que : 1) le secteur de la subsistance équivaut à environ 15 000 \$ par ménage par année dans la région arctique et à la moitié de cette somme, environ, dans la région subarctique; 2) l'économie de subsistance compte souvent pour une proportion du quart à la moitié de l'économie locale *totale*; 3) l'économie de subsistance *n'est pas* en voie de disparition et pourrait même prendre de l'expansion; et 4) il est impossible à court ou à long terme que ce secteur soit remplacé par une économie industrielle et fondée sur les salaires, et pour cause : il n'y a pas d'emplois et il ne s'en créera probablement pas (Berkes and Fast, 1996). Comme le concluait la Commission d'aménagement du territoire du delta du MacKenzie et de la mer de Beaufort (1988), outre les promesses de l'exploitation pétrolière et gazière, il apparaît très difficile d'intensifier l'activité

économique par la création d'entreprises ou d'emplois. Le tourisme pourrait peut-être devenir source d'emplois, mais il faudrait pour ce faire une population locale active sur son territoire et connaissant bien ce dernier.

L'impact possible du changement climatique sur l'économie du Nord est méconnu. D'une part, les changements environnementaux sont partie intégrante de la vie quotidienne des populations nordiques, tout comme la capacité de s'y adapter. D'autre part, les phénomènes extrêmes et les fluctuations inhabituelles présentent des risques et des difficultés d'adaptation. On ne sait pas grand-chose non plus des limites de l'adaptabilité de ces populations sur les plans culturel, social et économique. Prenons par exemple la disparition des colonies scandinaves du Groenland. Des fouilles archéologiques approfondies ont montré l'occurrence de périodes plus froides que la moyenne de 1308 à 1318, de 1324 à 1329, de 1343 à 1362 et de 1380 à 1384. Le grand froid de 1343 correspond à l'abandon de l'établissement de l'ouest, qui pourrait s'expliquer par la difficulté soudaine des Scandinaves à produire et à entreposer du fourrage pour leurs animaux de ferme. La production avait permis jusque-là d'entreposer assez de fourrage pour une année, deux tout au plus. Un brusque refroidissement empêchant toute production pendant deux ans représentait donc la limite de la résilience de l'économie agricole et du mode de subsistance des Scandinaves. Incapables de s'adapter au régime composé de mammifères marins et de poissons de leurs voisins inuits du Groenland, ou refusant simplement de le faire, ils sont morts l'un après l'autre, une fois consommés leurs derniers animaux affamés (Pringle, 1997).

Il est possible d'évaluer dans la même veine l'impact du changement climatique sur les populations contemporaines du Nord du Canada, en prêtant une attention particulière aux limites de l'adaptabilité et de la résilience de leurs économies. La littérature met en évidence les adaptations faites par les populations arctiques et subarctiques pour composer avec la variabilité des ressources. Mais elle montre aussi que, depuis quelques décennies, les changements qui les ont affectés n'étaient pas, la plupart du temps, liés au climat (Langdon, 1995; Wenzel, 1995). Depuis l'époque historique récente, en effet, ces populations ont subi des épidémies, l'acculturation et des changements sociaux et économiques, dont l'effondrement des marchés de la nourriture (Wenzel, 1995). Par comparaison, l'impact des récentes modifications climatiques sur leur bien-être est négligeable. Se fondant sur des études menées à Aklavik et à Fort Liard, Newton (1994) conclut que la viabilité des collectivités du Nord est plus influencée par des perturbations anthropiques que par les changements lents qui modifient le milieu naturel. Néanmoins, l'aggravation possible de phénomènes climatiques extrêmes pourrait entraîner des pertes. On a de bonnes indications que les populations nordiques sont plus sensibles aux *phénomènes extrêmes* et y réagissent davantage qu'aux modifications des *conditions moyennes* (Aharonian, 1994), et que les changements *imprévisibles* sont plus marquants et pourraient être plus dangereux que des phénomènes prévisibles, même extrêmes (Berkes, 1988). La théorie sous-jacente est celle de la résilience des systèmes écologiques et sociaux et des comportements adaptatifs (Holling, 1986; Berkes and Folke, 1997).

La relation entre le changement climatique et les économies de subsistance du Nord peut s'analyser en trois volets, tous liés à l'adaptation, à la flexibilité, à la résilience et aux changements imprévisibles :

1. Le changement climatique peut modifier de façon imprévisible la distribution des animaux et d'autres ressources dont dépend une économie axée sur les ressources naturelles.
2. Le changement climatique peut influencer sur l'utilisation des connaissances traditionnelles et sur les possibilités d'adaptation locale.
3. Le changement climatique peut affecter la santé des populations nordiques par des perturbations alimentaires et des changements épidémiologiques.

IMPACT POSSIBLE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES ÉCONOMIES DU NORD, VOUÉES À LA SUBSISTANCE ET FONDÉES SUR LES RESSOURCES NATURELLES

L'économie nordique comprend trois secteurs : les salaires, les paiements de transfert et l'exploitation des ressources pour la subsistance. La plus importante source de liquidités reste, depuis quarante ans, les dépenses du gouvernement. Le piégeage des animaux à fourrure, le tourisme et la vente d'objets d'artisanat autochtone en sont d'autres. Par ailleurs, malgré une divergence d'opinions quant à la précision de ces chiffres, différentes études effectuées depuis les années 1970 estiment à environ 15 000 \$ par ménage et par année le segment de l'économie fondé sur les ressources dans l'Arctique et à une proportion du quart à la moitié de cette somme dans la région subarctique (tableau 8.1). Une part considérable des revenus de salaires et de transferts est consacrée à la production d'aliments locaux, pour la subsistance. Cette économie fondée sur les ressources compte pour une proportion du quart à la moitié de l'économie locale *totale*, le reste dépendant de salaires et de transferts (tableau 8.2). La compilation des données produites par plusieurs dizaines d'études faites dans la biorégion de la baie d'Hudson montre amplement la vigueur de ces activités de subsistance dans les régions arctiques et subarctiques canadiennes. Malgré l'évolution du monde qui les entoure et malgré l'augmentation des liquidités qui circulent, on n'observe aucun déclin marquant à cet égard.

Tableau 8.1 Valeur attribuée à l'alimentation fournie par la chasse et la pêche de subsistance

Région	Année	Poids comestible potentiel (kg)	Valeur attribuée (\$)	N ^{bre} de ménages	Valeur par ménage et par année	
					\$ actuels (année de l'étude)	\$ constants (1991)
Keewatin	1981-1982	829 440	7 879 680	665	11 849	17 892
	1982-1983	793 003	7 533 529	685	10 998	15 727
	1984-1985	895 298	8 505 331	705	12 064	15 925
Mushkegowuk	1990	686 713	7 846 155	1 116	7 031	7 453
Pinehouse	1983-1984	84 455	451 307	98	4 605	6 290
Wemindiji	1975-1986	67 636	372 000	117	3 180	8 459
	1976-1987	79 272	436 000	121	3 603	8 863
Nord du Manitoba	1983-1984	355 529	1 462 931	1 238	1 167	1 594

Références et notes explicatives dans Berkes et Fast, 1996.

Tableau 8.2 Secteur de l'économie fondé sur les ressources naturelles

Région	Total de l'économie monétaire par année			Valeur attribuée aux activités traditionnelles autochtones		
	Année	\$ actuels (année de l'étude)	\$ constants (1991)	\$ actuels (année de l'étude)	\$ constants (1991)	Économie monétaire p/r à l'économie traditionnelle
Sanikiluaq	1984	2 155 000	2 952 350	2 946 515	4 036 726	1:1,37
Mushkegowuk	1990	25 370 880	26 893 133	8 372 400	8 874 744	1:0,33
Nord du Manitoba	1985	178 827 600	236 052 430	22 367 500	29 525 100	1:0,13
Waswanipi	1968 à 1970	251 315	774 050	209 665	645 768	1:0,83
	1982	1 814 451	2 739 821	684 667	1 033 847	1:0,38
Wemindji	1975-1976	625 000	1 687 500	531 000	1 433 700	1:0,85
	1977-1978	1 184 000	2 960 000	732 000	1 830 000	1:0,62
Pinehouse	1983-1984	2 101 289	2 878 766	1 135 281	1 555 335	1:0,54

Références et notes explicatives dans Berkes et Fast, 1996.

Le changement climatique aura probablement des effets marquants sur ces économies de subsistance. Or, bien que certains spécialistes prédisent un refroidissement, la plupart prévoient une tendance au réchauffement. Certains s'attendent à une transition graduelle, tandis que d'autres entrevoient un revirement spectaculaire. L'étude des carottes de glace était la notion d'un changement climatique marqué, entraînant les températures à la hausse. Selon Beaulieu (1997), la conjoncture naturelle et anthropique pousse le climat aux limites de la tolérance de la Terre et va le forcer à basculer vers des conditions très différentes. Et c'est aux latitudes arctiques et subarctiques que le changement climatique, s'il se produit, devrait avoir ses plus grands impacts (Roots, 1996). Déjà, certains facteurs donnent à penser que le changement ne sera pas uniforme dans toute la région. Dans l'ouest de l'Arctique, par exemple, et particulièrement dans le delta du Mackenzie, la variabilité saisonnière devrait augmenter et le changement devrait y être plus complexe que dans l'est (Maxwell, 1987). Mais le scénario, quel qu'il soit, ne peut qu'affecter directement ou indirectement la santé des ressources sur lesquelles repose l'économie de subsistance et l'environnement dans lequel ces ressources sont prélevées.

Le changement climatique peut modifier la distribution des animaux et d'autres ressources sur lesquelles reposent les économies de subsistance du Nord, fondées sur les ressources naturelles.

Effets prévus d'un réchauffement climatique sur les ressources vitales

Les modèles informatisés et l'analyse des régimes climatiques passés suggèrent un réchauffement de 8 à 10 °C en hiver et de 1 à 2 °C en été, dans l'Arctique. Ces prévisions indiquent une augmentation de la fréquence des tempêtes, une augmentation de l'humidité et des vents ainsi qu'une augmentation moyenne des précipitations de l'ordre de 20 à 30 %. Le nombre de jours pendant lesquels les lacs seraient couverts de glace devrait diminuer de 30 à 35 selon un auteur (Maxwell, 1987), et de 120 jours à l'automne et 15 jours encore au printemps (MDE, 1991). Les jours avec neige au sol devraient diminuer de 30, avec une augmentation possible du ruissellement printanier et des inondations. Les étés pourraient devenir totalement libres de glace et la glace hivernale pourrait être plus mince (Maxwell, 1987).

La majeure partie de la production primaire de l'océan Arctique est le fait d'algues microscopiques qui utilisent la surface inférieure de la glace comme habitat initial et s'étendent ensuite à la surface de l'eau. Ces algues sont particulièrement actives à la lisière de glaces, pendant la période – très brève – où la glace fond. Or, comme cette lisière monte vers le nord

avec la fonte, la saison de croissance maximale, toutes régions confondues, n'est que de quelques semaines, et s'étend au total sur une plage de 5 à 10° de latitude. Cette même petite surface attire des animaux plus gros, qui se nourrissent de ces algues (PAME, sans date). Le plancton est soit végétal (phytoplancton) soit animal (zooplancton). Ce dernier comprend un groupe appelé ichthyoplancton, constitué des oeufs flottants et des larves de nombreuses espèces de poisson; toute augmentation de l'intensité des UVB ambiants pourrait être un stress pour ces espèces, qui pourraient disparaître ou évoluer vers des formes différentes, peut-être moins nutritives (Diffey, 1991).

En cas de réchauffement climatique, il y a lieu de craindre la disparition de la glace de plusieurs années et de vastes surfaces de pergélisol. Comme la limite forestière se déplacerait vers le nord d'environ 200 à 300 kilomètres et que la toundra reculerait pour ne couvrir que l'archipel, la variété et le volume de la végétation augmenteraient (Harris, 1987; Bregha, 1987). Ce mouvement de la limite forestière se répercuterait alors sur la couverture neigeuse. L'augmentation des précipitations de neige retarderait la fonte et, partant, la floraison, qui est déjà brève (Scott et Rouse, 1995).

Autre effet de l'augmentation des chutes de neige : le printemps serait plus humide et plus frais, la saison sans gel raccourcirait. « Tout changement favorisant l'augmentation des chutes de neige en hiver aura un effet marqué sur les peuplements végétaux, même si les précipitations et la température estivales demeurent inchangées » (Scott and Rouse, 1995). Le dégel du pergélisol provoquerait la formation de « lacs thermokarstiques » et l'affaissement du sol, ce qui bouleverserait le drainage naturel, endommagerait les forêts et compliquerait énormément les déplacements (Harris, 1987). Bref, la dégradation du pergélisol aurait de graves conséquences pour les écosystèmes et les habitats existants (Conseil du Programme climatologique canadien, 1991), comme pour les espèces sauvages dont dépendent les économies de subsistance.

Forêts, faune et oiseaux aquatiques

Le tiers de la surface émergée du Canada est couvert de forêts boréales (Jackson, 1992). Or, certains chercheurs prédisent que la limite forestière se déplacera au rythme de 100 à 250 km par décennie (MDE 1991), soit 25 fois plus vite que dans des conditions normales. Pruitt (1993) et Jackson (1992), toutefois, entrevoient la perte de vastes superficies forestières, particulièrement dans le sud-ouest de la taïga — « la forêt de conifères du nord (ou forêt boréale) » – d'abord par suite d'invasions massives de la tordeuse des bourgeons, de la tenthrède et du scolyte, puis sous l'action de grands feux de forêts. Mais, selon Pruitt (1993), la forêt n'avancera vers le nord que si les conditions pédologiques y sont propices. Par contre, certains chercheurs prédisent moins de feux de forêts au total, tout en reconnaissant la possibilité d'une certaine augmentation due aux sécheresses dans la forêt boréale du sud-est (Bergeron and Flannigan, 1995; Jackson, 1992).

Les animaux terrestres, aquatiques et marins des zones arctiques et subarctiques vivent dans un environnement physique qui, dans des conditions idéales, les supporte de façon intermittente. Aussi, le moindre changement de conditions peut avoir des effets majeurs sur leur santé et sur leur survie. Roots (1996) conclut que le réchauffement rapide qu'annoncent les modèles climatiques va considérablement diminuer la productivité des forêts du nord et le nombre de grands animaux dans ces forêts et dans la toundra : « Durant les périodes de changement

climatique ou autre, ce sont les animaux et les plantes dont le cycle de vie est court qui peuvent s'adapter le plus facilement aux nouvelles conditions. Les virus, les bactéries du sol, les parasites, les insectes et les plantes annuelles vont réagir plus rapidement que les plantes de grande longévité (lichens ou carex) ou les animaux de grande longévité (corégone, caribou, loup ou oie) ». La littérature fournit d'ailleurs un témoignage historique de la corrélation entre les fluctuations des populations animales et les changements de température. Ainsi, quand le climat du Canada s'est réchauffé, des années 1920 aux années 1940, les populations de lynx se sont pratiquement éteintes, en partie parce que les températures supérieures à -25°C font ramollir la croûte de neige et rendent tout déplacement impossible pour l'espèce. Puis, quand le climat s'est refroidi pendant les trente années qui ont suivi, ces populations se sont reconstituées de façon spectaculaire (Scott and Craine, 1993).

L'aire d'hivernage du caribou sera réduite par l'affaissement des tourbières à palse des basses terres de la baie d'Hudson sous l'effet du dégel du pergélisol. Tant le caribou des terres nues que le caribou des bois verront leur habitat réduit par les feux, ainsi que par l'épaississement et le durcissement de la neige. Les mouvements des animaux terrestres, tels que le caribou, l'orignal, le renard arctique et le loup, seront limités par l'allongement des périodes et l'accroissement des superficies d'eau libre de glace. Les populations d'ours blanc, de phoque barbu et de phoque annelé vont probablement diminuer, puisque la superficie des banquises nécessaires à leur habitat va diminuer. Le cerf de Virginie, en revanche, devrait étendre son aire de distribution vers le nord, provoquant l'augmentation des populations de loups et de coyotes. Les populations de vison, de loutre, et probablement de castor, devraient diminuer, écrit Pruitt (1993), puisque les conditions plus sèches vont réduire leur habitat et fragmenter leur aire de distribution. Les populations de lièvres d'Amérique, de lièvres de Townsend et d'écureuils terrestres vont augmenter, et celles d'écureuils arboricoles pourraient baisser avec la réduction des superficies forestières. Le dégel du pergélisol va profondément modifier les meilleures aires de reproduction et de mue des oiseaux aquatiques et des oiseaux de rivage le long des côtes; le niveau de la mer montera et provoquera des intrusions salines (MDE, 1991). Maarouf et Boyd (1997), enfin, croient que le mouvement vers le nord de la limite forestière et la déstabilisation du pergélisol et de la végétation dans les aires de nutrition des oies nuiront à leurs populations.

Des études écologiques menées à long terme à La Persouse Bay, dans le nord du Manitoba, montrent bien à quel point le changement climatique peut avoir des effets imprévisibles se traduisant, par exemple, par un amoindrissement de la résilience écologique. Des périodes de froid et de mauvais temps au printemps ont forcé la petite oie des neiges à demeurer plus longtemps dans la baie. Or, comme celle-ci abrite déjà une population résidente de ces oiseaux, la pression accrue sur les racines et les rhizomes des graminées des marais salés entraîne la destruction des peuplements avant même le début de la croissance au-dessus du sol. La perte de cette couche isolante de végétation intensifie l'évaporation et la surface sédimentaire devient sursalée, ce qui réduit davantage la croissance des plantes. Cette chaîne de rétroactions positives dépasse la capacité du système d'absorber les perturbations tout en maintenant son intégrité écologique, c'est-à-dire sa résilience (Holling, 1986). Ainsi dépourvu de sa résilience, le marais devient désert et évolue vers un autre type d'équilibre, qui ne conviendra plus aux oies (Srivastava et Jeffries, 1996).

Poissons et mammifères marins

Les poissons et les mammifères marins représentent une part importante de l'économie de subsistance, soit 20 % des prélèvements faits par les Cris de West Main, dans le nord de l'Ontario (Fast, 1996 d'après Berkes *et al.*, 1994). Le changement climatique devrait affecter les populations de poissons en modifiant la température de l'eau et le cycle hydrologique (Jackson, 1992). En effet, le métabolisme des poissons et leur demande en nourriture augmentent en fonction de la température. Si cette dernière est plus élevée, la fraye et l'éclosion seront plus hâtives et l'incidence des maladies bactériennes devrait être plus forte. La disponibilité de la nourriture et la compétition pour les ressources entrent aussi en jeu (Lin and Regier, 1995). Bien que les impacts du changement climatique sur les populations de poissons dans le Nord canadien n'aient pas été beaucoup étudiés (Reist, 1994; Jackson, 1992), on sait que leur capacité de s'adapter à un milieu changeant est vraiment fonction de l'espèce. Si les changements sont rapides, les poissons pourraient se déplacer vers le nord, disparaître de leur aire de distribution actuelle ou subir des modifications génétiques (Lehtonen, 1996). Reist (1994) a observé par ailleurs que les effets de différents phénomènes peuvent être cumulatifs de sorte que les impacts réels sur les poissons pourraient être plus considérables que l'impact de chaque phénomène individuel le laisse croire. Par différents phénomènes, on entend entre autres le changement climatique, l'exploitation des ressources, la contamination et la modification de l'habitat local.

Les espèces d'eaux froides en général et l'omble chevalier en particulier déclineront sans doute par suite de la diminution de leur habitat d'été et des concentrations d'oxygène. De plus, leur plage thermique de croissance optimale est de 5 °C à 16 °C; des températures de 22 °C à 27 °C sont fatales (Lehtonen, 1996). Par ailleurs, le cisco arctique, qui vit dans la mer de Beaufort, l'un des poissons anadromes les plus abondants et l'une des principales composantes de la pêche commerciale et de la pêche de subsistance autochtones, semble préférer les températures plus élevées en conditions d'essais et peut également tolérer la forte salinité typique de l'environnement marin (Fechhelm *et al.*, 1993).

Dans les régions subarctiques, il faut, semble-t-il, s'attendre à des changements d'espèces considérables dans les eaux actuellement peuplées de grands corégones, de dorés jaunes, de grands brochets et de touladis. L'arrivée de nouvelles espèces aura des impacts divers allant d'un impact négatif à bénin ou positif. Certains auteurs croient toutefois que la perspective d'amples modifications dans la distribution régionale des poissons d'eau douce par suite d'un changement climatique est très inquiétante (Minns et Moore, 1995; MDE, 1991). Les répercussions sur l'avenir de la pêche de subsistance et de la pêche commerciale dans les régions arctiques et subarctiques pourraient être graves.

Si le climat se réchauffe, les mammifères marins comme le béluga, la baleine boréale, le phoque commun, le phoque du Groenland et le morse devraient augmenter en nombre et étendre leur aire de distribution au fur et à mesure du retrait de la banquise (MDE, 1991). Cette croissance pourrait aussi influencer sur l'économie de subsistance et les styles de vie pratiqués dans l'Arctique.

Incidence économique

La fonte des glaciers et la dilatation thermique des océans devraient hausser le niveau moyen de la mer de 0,5 m ou plus, surtout dans la région de la mer de Beaufort (Conseil du Programme climatologique canadien, 1991; MDE, 1991). Une telle élévation aurait des effets dévastateurs sur les établissements côtiers de l'Arctique. Les mesures de protection contre les inondations seraient coûteuses, si tant est d'ailleurs que ces établissements puissent être protégés.

L'intensification de l'activité dans le pergélisol aurait par ailleurs des effets divers sur l'économie monétaire comme sur l'économie de subsistance. Même si l'exploitation du pétrole et du gaz à l'intérieur des terres devenait plus onéreuse sur un pergélisol moins dur, l'exploitation des hydrocarbures en mer bénéficierait de conditions plus tempérées et le transport maritime serait possible pendant six à huit semaines de plus chaque année. La réduction du pergélisol diminuerait en outre le coût des opérations minières (Maxwell, 1987), de sorte que l'exploitation des réserves actuellement connues de pétrole, de gaz naturel, de plomb, de zinc et de fer deviendrait du coup plus viable sur le plan économique (Bregha, 1987). Le tourisme, les loisirs et le transport maritime seraient avantagés (MDE, 1991). Toutefois, dans l'ouest de l'Arctique, plus sec et plus rocheux que l'est, l'augmentation rapide de la couche active du pergélisol excéderait les actuelles tolérances structurelles au mouvement (Harris, 1987). De même, les routes d'hiver et les routes toutes-saisons deviendraient instables et pourraient donc rester moins longtemps ouvertes chaque année. L'accessibilité des habitats des poissons et des espèces sauvages s'en trouverait affectée et, partant, les prélèvements vitaux et commerciaux (MDE, 1991).

Les effets d'un climat plus froid

Les carottes de glace témoignent du climat des 100 000 dernières années. Or, des études menées dans l'Arctique donnent à croire que le climat ne tend pas à se réchauffer, mais à revenir plutôt vers une époque glaciaire (Koerner, 1987). La majorité des spécialistes s'attendent néanmoins à un réchauffement général, au sein duquel certaines régions comme la côte du Labrador pourraient aller en se refroidissant (Cohen *et al.*, 1994). Parmi les tenants du refroidissement figure Ball, historien climatologue, pour qui un refroidissement serait « beaucoup plus dévastateur » qu'un réchauffement pour toute la population canadienne, y compris la population du Nord (comm. pers., 1997). Il existe d'ailleurs des enregistrements historiques de ce que seraient les effets d'un refroidissement sur la végétation et sur la faune.

Au cours du dernier grand refroidissement survenu dans l'Arctique (1500 av. J.-C. à 1700 ap. J.-C.), la limite forestière a retraité par suite d'incendies intenses dans les forêts mourantes (McGhee, 1987). Il suffit d'un changement de 1 °C, au cours des mois les plus chauds ou les plus froids de l'année, pour modifier l'étendue et le type de végétation des régions arctiques (Ball, 1986). On pense donc que durant cette période de refroidissement, le caribou, entre autres, a été forcé de changer sa route migratoire en quête de végétation (McGhee, 1987). À mesure que la température a baissé, les chasseurs ont eu plus de mal à trouver de quoi se nourrir, puisque le caribou avait gagné l'intérieur des terres et que les baleines ne pouvaient plus estiver dans les estuaires, où justement elles étaient chassées. On suppose que les Inuits se sont adaptés en se mettant à chasser le phoque annelé, dont le nombre avait augmenté à mesure que la glace de mer

prenait de l'extension (McGhee, 1987). Les Inuits ont également commencé à passer l'été dans l'intérieur des terres, vivant de la pêche et de la chasse au caribou. Ils se sont ainsi adaptés à des conditions soudain bouleversées et à la variabilité régionale du Petit âge glaciaire (McGhee, 1987).

Si le climat se refroidissait, l'actuel pergélisol s'étendrait vers le sud et le sol gonflerait. Au total, l'incidence sur l'infrastructure ne devrait pas être très grave; les routes d'hiver serviraient plus longtemps. Par contre, l'approvisionnement en eau pourrait être plus difficile; il faudrait probablement modifier le système de transport pour empêcher qu'elle gèle (Harris, 1987).

Les collectivités établies autour de la baie d'Hudson ont subi quelque peu les effets d'un refroidissement au cours des dernières décennies, refroidissement que l'on croit dû à la fonte de la calotte glaciaire du Groenland et à la tendance à une baisse des températures au large du Labrador. Les modifications observées sont indicatives des effets possibles d'un refroidissement sur les activités de subsistance. Ce sont : des printemps plus courts, la pénurie de vallisnérie spirale dont se nourrissent les oies en migration, la baisse des températures, le passage rapide et hâtif des automnes, l'augmentation des précipitations nivales (qui fait diminuer le nombre d'oies qui s'arrêtent pour se nourrir le long des côtes pendant la migration automnale), un changement de direction des vents du nord au printemps, empêchant les oies de se poser par larges bandes, une brume sèche qui semble bloquer la chaleur des rayons solaires, et des marées de vives-eaux qui n'arrivent pas à empêcher les polynies de geler (Arragutainaq *et al.*, 1995).

Le changement climatique peut modifier l'utilisation des connaissances traditionnelles et les adaptations locales.

Les connaissances écologiques traditionnelles sont le fruit de l'expérience acquise au fil de milliers d'années de contact direct avec l'environnement. Berkes (1993) a proposé de définir ces connaissances comme « un fonds cumulatif de connaissances et de croyances sur la relation entre les êtres vivants (y compris l'être humain) et entre les êtres vivants et leur environnement, qui se transmet d'une génération à l'autre par la culture ». Le terme est forcément ambigu, puisque le mot « traditionnel » l'est lui-même. Il signifie généralement la continuité culturelle assurée par les conventions régissant le comportement et la pratique dérivée de l'expérience historique. Toutefois, les sociétés changent avec le temps et adoptent continuellement de nouvelles pratiques et de nouvelles techniques, de sorte qu'il est difficile de définir la partie « traditionnelle ». C'est pourquoi certains spécialistes évitent ce mot, lui préférant « connaissance autochtone » qui permet de contourner le débat sur la tradition et met explicitement l'accent sur les peuples autochtones.

Le concept de « connaissances écologiques » est lui aussi difficile à définir. Si l'écologie est vue au sens strict d'une branche de la biologie dans le contexte scientifique occidental, il ne saurait y avoir, strictement parlant, de connaissances écologiques traditionnelles, puisque la plupart des peuples traditionnels ne sont pas des scientifiques. Il y a donc lieu de donner à la connaissance écologique une définition plus large, celle d'une connaissance des relations entre les êtres humains ainsi qu'entre les êtres humains et leur environnement, quel que soit le mode d'acquisition. Cela étant, « connaissance écologique » n'est pas le terme le mieux choisi pour bon nombre d'Autochtones. En effet, beaucoup de populations autochtones du Nord canadien

parlent de leur « connaissance de la terre » plutôt que de connaissance écologique. En ce sens, toutefois, « la terre » représente plus que le paysage physique et inclut le milieu vivant. Pour étudier le changement climatique, on en est donc venu, au cours des dernières années, à reconnaître divers types de connaissances environnementales autochtones et divers types d'utilisation de ces connaissances, y compris le recours aux connaissances écologiques traditionnelles. Mais les liens qui les unissent à la science restent controversés (Berkes and Henley, 1997).

Chasseurs, pêcheurs et trappeurs dépendent d'une connaissance détaillée de la distribution et du comportement des animaux, du cycle des précipitations nivales et du moment du gel et du dégel à l'échelle locale. Spink (1969) a été parmi les premiers à étudier le changement climatique et les connaissances traditionnelles. Il a montré l'importance de la connaissance locale des Inuits pour étayer la notion de relèvement isostatique. Cruikshank (1984) a pour sa part noté que la connaissance traditionnelle est utile à la recherche historique sur le climat, à la recherche en géophysique et à la paléontologie. Une grande partie de la connaissance environnementale des Dénés lutsel k'e a trait à la neige et à la glace. En effet, les chasseurs surveillent attentivement la quantité, la qualité et l'occurrence de la couverture neigeuse, de la fonte, des cycles de gel et de dégel et du moment où ces phénomènes surviennent (Bielawski, 1994). Une étude linguistique menée par Basso (1972) faisait d'ailleurs état de treize catégories de glace d'eau douce, basées sur vingt caractéristiques de composition, chez les Dénés de Fort Norman. Mais cette connaissance n'est pas statique; elle est souvent mise à jour et modifiée. Quoiqu'il en soit, le changement climatique peut bouleverser le recours à ce fonds en minant la fiabilité de la connaissance localisée. Il suffit de penser au changement des cycles de gel et de dégel survenu dans l'estuaire de la rivière La Grande (à cause des aménagements hydroélectriques) et aux difficultés qui en ont résulté pour les Cris de Chisasibi qui voulaient aller du village à leurs terrains de chasse (Berkes, 1988). Ce qui fut particulièrement troublant pour les chasseurs, fut de ne plus pouvoir se fier à la couleur de la glace pour en évaluer l'épaisseur (heureusement, l'écoute donnait toujours une évaluation assez précise).

Tableau 8.3 Quelques termes spécialisés pour désigner la neige

Terme	Source	Définition
anmana	inuite	espace libre entre un banc de neige et l'obstruction qui en est responsable
api	inuite	neige au sol, forêt
ciegar	samie	tranchée d'alimentation dans l'api autrement intouchée
cuok'ki	samie	couche de glace solide près du sol
fies'ki	samie	cratère-enclos de neige mince, dure et dense dû au creusage par les rennes
kaioglaq	inuite	grosses formes sculptées durcies, résultant de l'érosion des kalutoganiq
kalutoganiq	inuite	amas en pointe de flèche au sommet de l'upsik; se déplace dans la direction du vent
pukak	inuite	couche fragile, colonnaire, de l'api
qali	inuite	neige sur les arbres
qamaniq	inuite	dépression en forme de bol dans l'api au pied d'un conifère
sandjas	samie	couche fragile de forme colonnaire au pied de l'api (= pukak)
suov'dnji	samie	cratère d'alimentation creusé dans l'api
upsik	inuite	couverture neigeuse durcie par le vent dans la toundra

Adapté et résumé d'après Pruitt, 1984. Les termes inuits sont ceux des Kovakmuit; les termes samis ceux des Lapons du nord de la Scandinavie.

Mais les vrais experts en glace de mer sont les Inuits, ce qui n'est peut-être pas surprenant, puisque beaucoup d'entre eux y ont vécu et chassé traditionnellement. Une compilation effectuée par Riewe (1991) montre qu'au moins le tiers de l'aire de chasse totale de la communauté est marine (eaux libres pendant la brève période estivale, mais glace la majeure partie de l'année) pour la moitié environ des communautés inuites des T. N.-O. La connaissance qu'ils ont de la neige et de la glace est légendaire (et parfois exagérée). D'ailleurs, certains écologistes spécialistes du Nord ont adopté la terminologie de la neige des peuples autochtones étant donné sa précision, évoquée au tableau 8.3 (d'après Pruitt, 1984).

Les conclusions de deux grandes études sur les connaissances traditionnelles effectuées dans la région de la baie d'Hudson et dans des bassins du Nord (nord de l'Alberta et T. N.-O.) indiquent un changement climatique à l'échelle locale, attribuable aux effets cumulatifs de différents aménagements. Dans le premier cas, un certain nombre de modifications ont été observées (Bill *et al.*, 1996). La population locale a noté en effet des feux, et surtout des feux de forêts, plus nombreux et plus intenses. Les chasseurs croyaient que ces feux étaient liés à la perte de l'habitat du caribou. La terre est devenue plus sèche et l'écoulement des rivières a changé. La baisse du niveau d'eau dans le delta des rivières de la Paix et Athabasca, pour les chasseurs, était liée à la réduction des populations d'oiseaux aquatiques, de rat musqué et de nombreuses espèces de poissons. Ces deux dernières modifications pourraient être en partie le fait des aménagements hydroélectriques (barrage W.C.-Bennett, en Colombie-Britannique). La population locale avait cependant plus de mal à interpréter la réduction des populations d'oiseaux chanteurs (problèmes dans l'aire d'hivernage). La réduction de l'habitat de prairie ou de la cariçaie était liée à la diminution du nombre de bisons, et l'empiétement croissant du saule et de la forêt dans le delta à l'augmentation du nombre d'originaux. Plus directement en rapport avec le changement climatique, la population locale avait observé que les premières neiges tombaient maintenant plus souvent avant que la température ne descende sous le point de congélation (Bill *et al.*, 1996).

Dans le cas de la baie d'Hudson, des représentants de six régions, Cris et Inuits, ont fourni des comptes rendus détaillés des modifications observées au cours des ans. Ils soupçonnaient que beaucoup étaient liées aux effets cumulatifs des aménagements hydroélectriques effectués au Québec, en Ontario et au Manitoba. De fait, l'étude était commandée par la communauté inuite de Sanikiluaq, située sur les îles Belcher, en réponse à l'évaluation environnementale de Grande-Baleine. Certaines des modifications rapportées (trajet migratoire des oies de la côte de la baie James vers l'intérieur des terres, par exemple) pourraient bien être liées à ces aménagements (la chaîne des réservoirs attirant les oies en migration). D'autres sont difficilement attribuables à la réalisation de ces projets. Ainsi, dans la région des îles Belcher, des chasseurs inuits ont rapporté que, des quelque trente-cinq polynies présentes dans les années 1950, il n'en restait plus que treize dans les années 1960 et 1970, et trois dans les années 1990 (Arrangutainaq *et al.*, 1995).

La population de l'île Southampton a signalé qu'il commence maintenant à neiger avant que l'eau douce ne gèle, de sorte que la glace qui recouvre les lacs est différente. La population de Whale Cove rapporte pour sa part que les chutes de neige ont augmenté, mais fondent plus tôt que par le passé. Les populations de Chesterfield Inlet, de l'île Southampton et d'Arviat font toutes état de conditions météorologiques plus imprévisibles, comme la fonte des neiges en mai et des blizzards jusqu'en juin. Un certain nombre de communautés de la baie d'Hudson ont observé un affaiblissement des principaux courants au large et des courants de marée pendant les

années 1980. D'autres mentionnaient des changements dans les vecteurs biologiques potentiels. À Whale Cove, par exemple, on a observé l'apparition de mouches noires, tandis qu'à Repulse Bay, on a indiqué une diminution du nombre de moustiques (McDonald *et al.*, 1995).

Le changement climatique peut affecter la santé des populations nordiques par le biais de perturbations alimentaires et de changements épidémiologiques

L'incapacité de chasser et de pêcher ne condamne plus à mourir de faim, mais n'en cause pas moins des problèmes alimentaires et la hausse des frais médicaux, étant donné la prévalence des troubles cardio-vasculaires, du diabète et de l'avitaminose. Une revue des études montre que la majeure partie des prélèvements de poissons et d'espèces fauniques par les Autochtones se situe entre 200 kg et 400 kg de nourriture potentielle par personne et par année, contre 50 à 150 kg dans la région subarctique (Berkes et Fast, 1996). Estimés sur la base du nombre d'animaux capturés multiplié par le poids comestible moyen par animal, ces chiffres révèlent la quantité de viande potentiellement comestible par personne et par année, moins les pertes et la viande consommée par les chiens.

Ces prélèvements représentent beaucoup par comparaison avec la viande et le poisson consommés par les Canadiens dans le sud du pays. Qui plus est, la viande des animaux sauvages est une nourriture très saine qui, consommée fraîche, apporte toutes les vitamines et tous les minéraux nécessaires (Schaefer and Steckle, 1980). Un prélèvement de quelque 300 kg de viande par année pour chaque homme, femme et enfant de l'Arctique correspond à un poids potentiel disponible d'environ 1,2 kg de viande et 300 g de protéines par équivalent adulte par jour (explications et conversions dans Berkes et Fast, 1996). Ces 300 g de protéines se comparent aisément à la norme minimale recommandée par Nutrition Canada, qui est de 60 g de protéines par jour pour une personne de 70 kg.

« Selon une récapitulation de l'alimentation sur 24 heures lors d'enquêtes menées en 1992 et 1993, la nourriture traditionnelle équivalait à une moyenne de 42 grammes de protéines pour les femmes inuites de moins de 45 ans dans le Nord du Québec. La moyenne était supérieure chez les hommes du même groupe d'âge (soit 43 g) et chez les personnes de plus de 45 ans (54 g chez les femmes et 88 g chez les hommes). Six autres études aboutissent à une moyenne située entre 50 et 80 g de protéines tirées des aliments traditionnels pour les femmes de moins de 45 ans. » [Traduction] (Hill, comm. pers., 1997.) Les chiffres tirés des études sur la consommation sont inférieurs, puisqu'une partie du poids comestible potentiel est perdu.

Toutefois, le changement climatique et l'évolution socio-économique générale dans le Nord ne sont pas les seules menaces pesant sur les sources locales de nourriture. Il faut en effet compter avec la contamination de la chaîne alimentaire dans l'Arctique (Cameron and Weiss, 1993) par le transport atmosphérique sur longue distance des contaminants. On trouve aussi sous les latitudes arctiques des PCB et d'autres contaminants organiques en concentrations dangereuses pour le réseau alimentaire, particulièrement chez les mammifères marins. Parmi les métaux lourds, le mercure inquiète particulièrement, puisqu'il pourrait avoir les effets les plus graves sur la santé humaine. Le cadmium et le plomb pourraient aussi causer des problèmes (Muir *et al.*, 1992). Les PCB sont notamment présents dans le régime alimentaire des Inuits; la concentration dans le lait maternel de certaines femmes inuites de la région de la baie d'Hudson serait cinq fois supérieure

à la concentration évaluée chez les femmes du sud du pays (Dewailly *et al.*, 1989). Au total, la différence entre les concentrations de PCB dans le lait maternel dans le Nord et dans le Sud semble être d'un facteur sept (Dewailly *et al.*, 1993). Ces problèmes ne sont pas nouveaux : ils nuisent à l'exploitation des ressources par les Autochtones depuis le milieu des années 1970 (Berkes, 1980). Il semble en outre que le changement climatique pourrait modifier le transport de divers contaminants vers les régions nordiques.

« La hausse des températures pourrait faire augmenter le degré de revolatilisation des contaminants actuellement stockés dans les sols et les océans. C'est dire qu'une quantité supérieure de ces substances pourrait être éventuellement transportée dans l'atmosphère et que le recyclage des contaminants dans l'écosystème global pourrait changer. Il n'est toutefois pas certain si ce changement peut entraîner l'augmentation des dépôts dans l'Arctique. En effet, la hausse des températures modifierait probablement les régimes de précipitations et le lessivage des contaminants de l'atmosphère. » [Traduction] (Han, comm. pers., 1997.)

Au cours des années 1950 et 1960, les populations autochtones du Nord se sont installées dans des villages permanents. Cette sédentarisation a profondément modifié leurs activités (moins d'activité physique), leur régime (moins de viande fraîche et plus de gras, de sucre et d'aliments transformés), leurs caractéristiques démographiques (natalité plus forte) ainsi que leurs valeurs sociales et culturelles. Le présent document est surtout axé sur les problèmes alimentaires, puisque le changement climatique peut entraver l'exploitation des ressources fauniques. La consommation humaine individuelle d'aliments traditionnels dans le Nord est élevée, la moyenne annuelle atteignant 267 kg à Keewatin, à Kitikmeot et à l'île de Baffin, soit plus de deux fois la moyenne de consommation de viande et de poisson des habitants du sud du pays (MDE, 1991; Wein and Wein, 1995).

Une étude effectuée auprès des Inuits du nord du Québec révèle que la nourriture traditionnelle demeure un apport important au régime des adultes de plus de 45 ans et que les personnes de moins de 45 ans consomment beaucoup plus d'aliments commerciaux. L'enquête montre en outre que les personnes de moins de 45 ans consomment beaucoup plus d'aliments de faible valeur nutritive que ne le font les plus de 45 ans (Lawn et Langer, 1994). Chez les femmes de moins de 45 ans, les aliments traditionnels les plus importants sont, par ordre de priorité : le caribou, l'omble chevalier, l'oie, le canard, le lagopède, le caribou séché et la peau de béluga. Les chercheurs ont conclu que la tendance des membres plus jeunes de ces populations à délaisser les aliments traditionnels pouvait aboutir à une alimentation moins nutritive, associée à une augmentation de l'incidence des maladies chroniques issues du style de vie (Lawn and Langer, 1994). La survie culturelle et la santé ont toujours été liées à la disponibilité de nourriture traditionnelle. Or, on sait que cette dernière contient des composés organiques chlorés, considérés comme la plus grande menace à la santé humaine étant donné leur persistance dans l'environnement, leur forte bioamplification, leur toxicité inhérente généralement élevée, leur usage répandu et leur forte tendance à s'emmagasiner dans les tissus gras des animaux (MDE, 1991).

La question n'a pas été tellement approfondie, mais ce qui préoccupe le plus, c'est le développement des fœtus et des bébés nourris au sein. Les lichens captent les retombées radioactives. Or, comme ils sont la principale source de nourriture des caribous, il y a lieu de

s'inquiéter de la santé des personnes qui en mangent principalement, bien que les risques soient considérés comme très faibles. La consommation d'aliments traditionnels expose aussi les individus à des concentrations dangereuses de méthylmercure dans le poisson (MDE, 1991). Le danger présenté par la nourriture est d'ailleurs revenu parmi les sujets d'inquiétude abordés à toutes les réunions communautaires tenues pour les besoins d'une étude sur la consommation, la nutrition et la santé des populations autochtones effectuée à Pond Inlet, Repulse Bay, Nain, Fort Severn, Davis Inlet, Arctic Bay, Gjoa Haven et Coral Harbour. Le sujet inquiète d'autant plus que les revenus sont faibles, que la nourriture coûte cher, que le taux de chômage est élevé, que l'aide sociale est insuffisante, et que la nourriture traditionnelle est de plus en plus difficilement accessible en plus de présenter elle-même un risque (Lawn and Langner, 1994).

À cet égard, l'un des grands problèmes vient de ce que les nutriments fournis par la viande fraîche, c'est-à-dire ni congelée ni traitée avec des agents de conservation, n'ont pas été remplacés par de nouveaux aliments à mesure que le régime traditionnel se transformait (Berkes and Farkas, 1978; Schaefer and Steckle, 1980). Par ailleurs, l'exploitation des ressources fauniques pour la subsistance exige une excellente forme physique. Or, à mesure que les membres de ces sociétés sont atteints par les maladies modernes, ils ont moins de forces pour chasser et contribuer au bien-être de leur famille.

Le réchauffement climatique ferait fondre le pergélisol et provoquerait le dégel des déchets. Les bactéries réactivées pourraient alors se déplacer dans le sol dégelé, augmentant grandement la possibilité de contamination des ressources en eau (Harris, 1987). De plus, l'augmentation du rayonnement UVB provoquée par l'amincissement de la couche d'ozone dans la stratosphère au-dessus de l'Arctique est une réelle menace pour la santé de l'homme et des animaux comme pour la productivité de la végétation terrestre et marine. Mais les effets en sont actuellement minimums puisque, sous ces latitudes, l'être humain s'expose peu au soleil quand le rayonnement UVB est à son intensité maximale, soit en mars et en avril. De même, la majeure partie de la végétation est encore sous la neige à cette époque. Cependant, les êtres vivants qui se déplacent sur la neige, y compris l'homme, le chien, le loup, le boeuf musqué, le caribou de Peary et des oiseaux comme le harfang des neiges, le corbeau et le lagopède, risquent des blessures aux yeux (Roots, 1996).

L'observation montre qu'un état latent peut devenir aigu ou chronique si l'individu est exposé au stress. On s'inquiète justement de ce que la prévalence accrue de la tuberculose chez les Autochtones du Canada soit une réaction de ce genre. En outre, la mauvaise alimentation de ces populations a des répercussions sur le développement des fœtus et des enfants. Or, le réchauffement climatique étendrait l'habitat convenant aux vecteurs biologiques comme le moustique, de sorte que le risque de propagation de la malaria serait accru. En effet, à mesure que l'habitat d'un animal change, celui des insectes qui vivent de cet animal change également. Même l'empiétement éventuel de l'agriculture sur des terres marginales pourrait influencer sur le comportement de ces vecteurs (Hackett, comm. pers., 1997).

ADAPTATION

Tout porte à croire que les sociétés autochtones pourront s'adapter aux fluctuations climatiques mineures, qu'elles soient de longue ou de courte durée, comme elles le font depuis des siècles.

Ainsi, malgré la perte du fonds de ressources causée par de vastes aménagements hydroélectriques et les difficultés qui s'ensuivent, les membres de la Première nation de York Factory, dans le nord du Manitoba, sont toujours très conscients de la présence de la faune dans les eaux et sur les terres qui les entourent comme sur leurs territoires de chasse traditionnels autour de York Factory et le long des côtes de la baie d'Hudson, près de deux cent milles plus loin. Un chasseur interrogé par Fast (1996), par exemple, s'est adapté aux changements du débit du fleuve Nelson et est de nouveau capable de se rendre par le fleuve jusqu'à York Factory pendant tout l'été. Une année, il a même le fait le voyage onze fois. En compagnie de plusieurs autres, il a pris l'avion de York Landing jusqu'à Gillam et, de là, a franchi les vingt-huit milles qui le séparaient de Limestone Generating Station, où il laisse son canot à moteur en aluminium de 18 pieds et 35 CV. L'eau est libérée tous les jours à 8 h à Long Spruce; à 11 h, elle est suffisamment haute à la centrale de Limestone pour permettre au groupe d'y mettre les canots à l'eau et d'avironner jusqu'à l'île Gillam. Cette portion du voyage prend huit heures. Une fois là, le groupe attend la marée de la baie d'Hudson, qui atteint l'île et peut les porter jusqu'à York Factory. Ce segment du trajet prend environ deux heures. Le groupe arrive donc à York Factory à environ 2 h du matin, une journée et demie après le départ. Les hommes chassent pendant tout le voyage, ainsi qu'à York Factory. Puis, ils reprennent la « marée du barrage » pour rentrer (Fast, 1996).

Ce n'est qu'un exemple de l'adaptabilité des sociétés ayant une économie de subsistance aux changements environnementaux. Néanmoins, les types de modifications susceptibles d'accompagner le changement climatique, telles qu'on les a décrites, pourraient mettre en péril la capacité d'adaptation de nombre d'entre elles. Les impacts seront probablement très étendus et il y aura des variations régionales. En outre, les efforts déployés pour modifier ou empêcher les phénomènes et les impacts prévus pour de vastes régions nordiques pourraient bien ne pas être viables une fois ces impacts perceptibles. La transition vers la sédentarisation des quarante dernières années a réduit – sans toutefois l'avoir totalement éliminée – la possibilité de partir vers de nouveaux endroits pour suivre les migrations animales. La perte de populations d'oiseaux aquatiques et de poissons aura de graves conséquences pour l'économie de subsistance, puisque ces ressources ne seront probablement pas remplacées par d'autres sources de nourriture sauvage. L'augmentation de l'aide financière gouvernementale, le cas échéant, ne compensera pas la perte de bien-être global. Enfin, si l'économie de subsistance s'effondrait, la migration vers les villes n'améliorerait pas non plus, selon toutes probabilités, le bien-être de ces populations.

BESOINS EN RECHERCHE ET SURVEILLANCE

Nous nous concentrons sur trois domaines où se manifestent des besoins de recherche et de surveillance : 1) les liens entre la disponibilité de données biologiques et écologiques quant aux effets du changement climatique sur l'utilisation locale des ressources et sur l'économie nordique; 2) l'élaboration de stratégies de gestion adaptatives axées sur la résilience des systèmes social et écologique et sur la possibilité de réagir en souplesse à l'incertitude et aux modifications climatiques largement imprévisibles; et 3) l'étude de la santé des populations nordiques vu les répercussions possiblement considérables du changement climatique sur la disponibilité à long terme de la nourriture traditionnelle.

En ce qui concerne le premier point, les chercheurs doivent recueillir des données biologiques sur les impacts possibles du changement climatique sur l'utilisation des ressources. Mais peut-être importe-t-il plus encore d'établir des liens entre les données écologiques et les changements économiques. Il y a en effet très peu de documents sur les liens entre système écologique et système social. L'étude est compliquée, entre autres choses, par l'intervention d'autres changements sociaux et environnementaux, y compris les effets des aménagements à grande échelle. Aucune méthode ne fait l'unanimité quant à la façon d'isoler les effets du changement climatique des effets cumulatifs d'aménagements physiques et autres changements. Qui plus est, on comprend mal les limites de l'adaptabilité des économies de subsistance nordiques. Certes, les populations nordiques sont mieux adaptées aux phénomènes extrêmes et aux fluctuations annuelles et saisonnières que les groupes non autochtones, mais on ne sait pas si l'acculturation a rendu ces groupes moins ou plus vulnérables aux impacts du changement climatique. Il faut donc arriver à mieux comprendre ces impacts non linéaires et discontinus (inattendus) (Holling, 1986) sur les régions arctiques et subarctiques pour aider les sociétés fondées sur des économies de subsistance à prévoir des changements imprévisibles, à planifier en fonction de ces derniers et à évaluer le risque qu'ils leur font courir.

Il faut par ailleurs effectuer des recherches pour élaborer des stratégies de gestion adaptatives qui permettent non seulement de repérer les conditions qui changent, mais également de trouver la souplesse nécessaire pour réagir à l'incertitude et à la complexité de l'environnement dans un contexte de changements rapides et largement imprévisibles (Holling, 1986). Dans ce cadre, la gestion adaptative consiste à tirer les enseignements de l'apprentissage, à apprendre par l'action et à concevoir des politiques comme autant d'expériences à partir desquelles les gestionnaires pourront apprendre. La gestion des pêches, par exemple, pourrait porter à la fois sur l'accroissement et l'effondrement des stocks, puisque le climat influe différemment sur les différents stocks. Les changements brusques qui touchent les populations de mammifères et d'oiseaux vont faire en sorte que les actuelles pratiques de gestion vont être en retard sur l'évolution de l'environnement. La capacité de gérer en fonction de l'adaptation sera donc un facteur clé du maintien des économies de subsistance au cours des années à venir.

La gestion adaptative est aussi directement liée au maintien et à la résilience du système social. L'incertitude croissante fait que, pour survivre à long terme, il importe d'avoir un système souple et de n'écarter d'emblée aucune option. Songeons à la résilience d'un système socio-économique (Berkes and Folke, 1997), c'est-à-dire à la capacité d'un système économique d'absorber des perturbations (comme les impacts d'un changement climatique) sans perdre ses caractéristiques propres. La capacité des groupes autochtones du Nord de se procurer les protéines dont ils ont besoin dans leur milieu est peut-être l'un des éléments les plus importants de cette résilience du système socio-économique, puisqu'elle favorise l'autonomie.

Enfin, il faut faire des recherches sur la santé des populations nordiques. Rien ne prouve l'existence d'un lien entre la santé de ces populations et leur capacité de trouver une source régulière d'alimentation traditionnelle. Mais la capacité de vivre tout au moins partiellement de la terre n'importe pas seulement pour la résilience socio-économique. De façon bien plus pragmatique, elle importe tout simplement pour la santé des individus. Le changement climatique est porteur d'effets qui pourraient être graves sur la disponibilité à long terme de cette nourriture. Comme dans le cas des Cris de Chisasibi, l'évolution rapide du milieu peut rendre

inutile la connaissance qu'on en a localement et nuire à la capacité de se déplacer et d'exploiter la terre (Berkes, 1988). Toutefois, comme le prouvent les chasseurs du fleuve Nelson, il est possible de s'adapter à un changement, même massif (Fast, 1996). Il reste à connaître les limites de l'adaptabilité et à réaliser les conditions sociales et économiques propices à de nouvelles adaptations. La question pourrait d'ailleurs être d'application générale pour les populations rurales du reste du Canada : la dépendance croissante des populations isolées envers l'ensemble de la société a un coût. Or, il n'existe pas de base connue ces coûts ni ce qu'il en coûterait pour faciliter des formes d'adaptations viables.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Fred Hill et SiuLing Han pour leur critique de la version antérieure du présent document; Stewart Cohen, David Ethkin et Roger Hansell pour les commentaires fournis en ateliers; Paul Hackett et Tim Ball pour leurs discussions avisées; et Margaret Treble pour l'aide apportée à la recherche. Ils souhaitent en outre souligner l'aide financière accordée par le Service de l'environnement atmosphérique du ministère de l'Environnement.

RÉFÉRENCES

- Ahoranian, D. (1994). Land use and climate change: An assessment of climate-society interactions in Aklavik, NWT. In: S.J. Cohen (ed.), *Mackenzie Basin Impact Study Interim Report #2*, Yellowknife, Northwest Territories, p. 410-420.
- Arragutainaq, L., McDonald, M., Novalinga, Z., Sauders, T., Anderson, M. and S., Hill (1995). *Traditional ecological knowledge of environmental changes in Hudson and James Bays: Part 2*. Hudson Bay Programme, Canadian Arctic Resources Committee, Environmental Committee of Sanikiluaq and Rawson Academy of Aquatic Science, 63 p.
- Ball, T. (1986). Historical evidence and climatic implications of a shift in the boreal forest tundra transition in central Canada. *Climatic Change* 8, p. 121-134.
- Ball, T. (1997). Communication personnelle.
- Basso, K.H. (1972). Ice and travel among the Fort Norman Slave: Folk taxonomies and cultural issues. *Language in Society* 1, p. 31-49.
- Beaulieu, P. (1997). Scariest thing about climate change: climate flips. *Alternatives Journal* 23, p. 9.
- Bergeron, Y. and Flannigan, M.D. (1995). Predicting the effects of climate change on fire frequency in the southeastern Canadian boreal forest. *Water, Air and Soil Pollution* 82, p. 437-444.
- Berkes, F. (1993). *A Traditional ecological knowledge in perspective* in J.T. Inglis (ed.), *Traditional Ecological Knowledge: Concepts and Cases*, Musée canadien de la nature/Centre de recherches pour le développement international, Ottawa, p. 1-9.
- Berkes, F. (1988). The intrinsic difficulty of predicting impacts: Lessons from the James Bay hydro project. *Environmental Impact Assessment Review* 8, p. 201-220.
- Berkes, F. (1980). *The mercury problem: An examination of the scientific basis for policy-making* in O.P. Dwivedi (ed.), *Resources and the Environment*, McClelland & Stewart, Toronto, p. 269-287.
- Berkes, F. and C.S., Farkas (1978). Eastern James Bay Cree Indians: Changing patterns of wild food use and nutrition. *Ecology of Food and Nutrition* 7, p. 155-172.
- Berkes, F. and H. Fast (1996). *Aboriginal people: The basis for policy-making toward sustainable development*, in A. Dale and J.B. Robinson (eds.), *Achieving Sustainable Development*, UBC Press, University of British Columbia, Vancouver, p. 205-264.

Berkes, F. and C., Folke, (eds.) (1998). *Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*. Cambridge University Press, Cambridge (sous presse).

Berkes F., P.J. George, R.J. Preston, A. Hughes, J. Turner and B.D. Cummins (1994). Wildlife Harvesting and sustainable regional native economy in the Hudson and James Bay Lowland, Ontario. *Arctic* 47, p. 350-60.

Berkes, F. and T., Henley (1997). Co-management and traditional knowledge: Threat or opportunity? *Policy Options* 18 (2), p. 29-31.

Bielawski, E. (1994). *Lessons from Lutsel K'e* in S.J. Cohen (ed.), *Mackenzie Basin Impact Study Interim Report #2*, Yellowknife, Northwest Territories, p. 74-76.

Bill, L., J. Crozier, D. Surrendi, L. Flett and D. MacDonald (1996). *A Report of Wisdom Synthesized from the Traditional Knowledge Component Studies*. Northern River Basins Study, Edmonton.

Bregha, F. (1987). The challenge of climatic change. *Northern Perspectives* 15(5), p. 15-16.

Cameron, M. and Weiss, I.M. (1993). Organochlorine contaminants in the country food diet of the Belcher Island Inuit, Northwest Territories, Canada. *Arctic* 46, p. 42-48.

Cohen, S.J., Agnew, T.A., Headley, A, Louie, P.Y.T., Reycraft, J. and W. Skinner (1994). *Climate Variability, Climatic Change, and Implications for the Future of the Hudson Bay Bioregion*. Environmental Adaptation Research Branch, Atmospheric Environment Service Environment Canada, Downsview, Ontario, 113 p.

Conseil du Programme climatologique canadien (1991). Le changement climatique et ses répercussions sur le Canada : le point de vue scientifique. Sommaire du changement climatique, SCC 91-01, Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada, Ottawa, 34 p.

Cruikshank, J. (1984). Oral tradition and scientific research: Approaches to knowledge in the North. *Social Science in the North: Communicating Northern Values*. ACUNS Occasional Studies No. 9.

Dewailly, E., P. Ayotte, S. Bruneau, C. Laliberte, D.C.G. Muir and R.J. Norstrom (1993). Inuit Exposure to Organochlorines through the Aquatic Food Chain in Arctic Quebec. *Environmental Health Perspectives* 101(7), p. 618-620.

Dewailly, E., A. Nantel, J.P. Webber and F. Meyer (1989). High levels of PCBs in breast milk of Inuit women from Arctic Quebec. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 43(5), p. 641-646.

Diffey, B.L. (1991) Solar ultraviolet radiation effects on biological systems. *Physics in Medicine and Biology* 36(3), p. 299-328.

Fast, H. (1996). *Subsistence in the Hudson Bay Bioregion: Land Use, Economy and Ethos*. Ph.D dissertation, Natural Resources Institute, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, 268 p.

Fechhelm, R.G., P.S. Fitzgerald J.D. Bryan and B.J. Gallaway (1993). Effect of salinity and temperature on the growth of yearling arctic cisco (*Coregonus autumnalis*) of the Alaskan Beaufort Sea. *Journal of Fish Biology* 43, p. 463-474.

Harris, S.A. (1987). Effects of climatic change on northern permafrost. *Northern Perspectives* 15(5),p. 7-9.

Hackett, P. (1997). Communication personnelle.

Han, SL. (1997). Communication personnelle.

Hill, F. (1997). Communication personnelle.

Holling, C.S. (1986). *The resilience of terrestrial ecosystems: Local surprise and global change*, in W.C. Clark and R.E. Munn (eds.), *Sustainable Development of the Biosphere*, Cambridge University Press, Cambridge, p. 292-317.

Jackson, C.I. (1992). Répercussions du réchauffement planétaire sur la politique du gouvernement canadien. *Sommaire du changement climatique* 92-01.

Koerner, R.M. (1987). Arctic ice cores: Putting present climate into perspective. *Northern Perspectives* 15(5), p. 10-12.

Langdon, S.J. (1995). *Increments, ranges and thresholds: Human population responses to climate change in northern Alaska*, in D.L. Peterson and D.R. Johnson (eds.), *Human Ecology and Climate Change: People and Resources in the Far North*, Taylor and Francis, Washington DC, p. 139-154.

Lawn, J. and N., Langer (1994). Air Stage Subsidy Monitoring Program Final Report, 2 and 3, Prepared for the Department of Indian Affairs and Northern Development, 72 p. + appendices; 26 p + appendices.

Lehtonen, H. (1996). Potential effects of global warming on northern European freshwater fish and fisheries. *Fisheries Management and Ecology* 3, p. 59-71.

Lin, P. and H.A. Regier (1995). *Use of arrhenius models to describe temperature dependence of organismal rates in fish*, in R.J. Beamish (ed.), *Climate Change and Northern Fish Populations*, Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 121, National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario, p. 211-225.

Maarouf, A. and H. Boyd (1997). Influences of climatic conditions in the Mackenzie Basin on the success of northern-nesting geese. *Mackenzie Basin Impact Study Final Report*, Yellowknife, p. 207-212.

Mackenzie Delta Beaufort Sea Regional Land Use Planning Commission. (1988). *Interim Report*. (non publié), Northwest Territories Land Use Planning Regional Office, Inuvik N.W.T.

Maxwell, B. (1987). Atmospheric and climatic change in the Canadian Arctic: Causes, effects, and impacts. *Northern Perspectives* 15(5), p. 2-6.

McDonald, M., L. Arragutainaq and S. Novalinga (1995). *Traditional ecological knowledge of environmental changes in Hudson and James Bays: Part 1*. Hudson Bay Program, Canadian Arctic Resources Committee, Environmental Committee of Sanikiluaq and Rawson Academy of Aquatic Science. 97 p.

McGhee, R. (1987). Climate and people in the prehistoric arctic. *Northern Perspectives* 15(5), p. 13-15.

Ministère de l'Environnement (MDE) (1991). L'Arctique : un baromètre du changement planétaire. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, p. 15-1 à 15-28.

Minns, C.K. and J.E. Moore, J.E. (1995). *Factors limiting the distributions of Ontario's freshwater fishes: the role of climate and other variables, and the potential impacts of climate change*,. in R.J. Beamish (ed.), *Climate Change and Northern Fish Populations*, Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 121, National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario, p. 137-160.

Muir, D.C.G., R. Wagemann, B.T. Hargrave, D.J. Thomas, D.B. Peakall and R.J. Nordstrom (1992). Arctic marine ecosystem contamination. *Science of the Total Environment* 122, p. 75-134.

Newton, J. (1994). *Community response to episodes of flooding in the Mackenzie Basin*,. in S.J. Cohen (ed.), *Mackenzie Basin Impact Study Interim Report #2*, Yellowknife, Northwest Territories, p. 421-430.

PAME Working Group on the Protection of the Arctic Marine Environment. (no date). Report to the Third Ministerial Conference on the Protection of the Arctic Environment 20-21 March 1996, Inuvik, Canada, p. 24-27.

Pringle, H. (1997). Death in Norse Greenland. *Science* 275, p. 924-926.

Pruitt, W.O., Jr., (1993). *Possible greenhouse-induced habitat and faunal changes in the taiga of central Canada*, in R. Riewe and J. Oakes (eds.), *Human Ecology: Issues in the North Vol II*, Occasional Publication Series No. 32, Canadian Circumpolar Institute, Edmonton, Alberta, p. 67-84.

Pruitt, W.O. (1984). *Snow and Living Things*, in R. Olson, F. Geddes, and R. Hastings (eds), *Northern Ecology and Resource Management*, University of Alberta Press, p. 51-77.

Reist, J.D. (1994). *An overview of the possible effects of climate change on northern freshwater and anadromous fishes*, in S.J. Cohen (ed.), *Mackenzie basin impact study (MBIS) Interim Report 2*, Environment Canada, Ottawa, Ontario, p. 377-385.

Riewe, R. (1991). Inuit use of the sea ice. *Arctic and Alpine Research* 23, p. 3-10.

Roots, F. (1996). A strategy for federal science and technology in northern Canada and the Arctic. First draft. Unpublished report prepared for the Interdepartmental Working Group on Northern Science and Technology, 143 p.

Schaefer, O. and J. Steckle (1980). *Dietary Habits and Nutritional Base of Native Populations of the Northwest Territories*. Government of the Northwest Territories, Yellowknife, 38 p.

Schneider, S.H. (1995). Foreward. *Water, Air and Soil Pollution* 82, p. x-xii.

Scott, P.A. and I.T.M. Craine (1993). The lynx cycle: a climatic perspective. *Climate Research* 2, p. 235-240.

Scott, P.A. and W.R. Rouse (1995). Impacts of increased winter snow cover on upland tundra vegetation: A case example. *Climate Research* 5, p. 25-30.

Spink, J. (1969). Historic Eskimo awareness of past changes in sea level. *Musk-Ox* 5: p. 37-40.

Srivastava, D.S. and R.L., Jeffries (1996). A positive feedback: Herbivory, plant growth, salinity and the desertification of an arctic salt-marsh. *Journal of Ecology* 84, p. 31-42.

Wein, E.E. and R.W. Wein (1995). Predictions of global warming influences on aboriginal food use patterns in Northwestern Canada. *The Northern Review* 14, p. 86-94.

Wenzel, G.W. (1995). *Warming the Arctic: Environmentalism and Canadian Inuit*, in D.L. Peterson and D.R. Johnson (eds.), *Human Ecology and Climate Change: People and Resources in the Far North*. Taylor and Francis, Washington DC, p. 169-184.