

BULLETIN LE CO₂ ET LE CLIMAT

PÉRIODIQUE DE LA RECHERCHE SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

LES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES INHABITUELLES RÉCEMMENT OBSERVÉES, LEURS CONSÉQUENCES ET LES CATASTROPHES QUI LEUR SONT LIÉES : VARIABILITÉ NATURELLE OU CHANGEMENT CLIMATIQUE?

INTRODUCTION

Les économistes sont d'avis que, dans une proportion de 20 % à 60 %, l'économie des pays comme le Canada est sensible aux répercussions des changements quotidiens et annuels des conditions météorologiques. En conséquence, selon des estimations prudentes, les Canadiens dépenseraient actuellement plus de 12 milliards de dollars par année pour faire face aux conditions météorologiques et au climat et pour s'y adapter; cette somme comprend des pertes imputables aux accidents de la route causés par les conditions météorologiques et s'élevant à environ 1,1 milliard de dollars par année (Andrey *et al.*, 2001; Cohen *et al.*, 2001; Marteau, 2001; Rothman *et al.*, 1998).

À cet égard, les phénomènes météorologiques inhabituels qui ont de fortes répercussions ou qui entraînent des catastrophes se classent parmi les éléments les plus coûteux; en effet, comme leur nom l'indique clairement, ces phénomènes sortent de la gamme de conditions météorologiques normalement attendues dans un lieu donné. Par définition, la probabilité qu'ils se produisent est faible et, donc, ils sont généralement imprévus. Étant donné que notre économie, notre comportement social et même les communautés écologiques sont adaptés à un régime météorologique « normal », et le plus souvent mal préparés pour affronter des épisodes inhabituels en cette matière, ceux-ci peuvent devenir problématiques, voire désastreux. Comme nous l'avons constaté à un certain nombre de reprises ces dernières années, une seule catastrophe d'ordre météorologique peut causer aux infrastructures et aux propriétés des ravages se chiffrant en millions de dollars et même, dans certains cas, en milliards de dollars; perturber sérieusement les gens qui la subissent; produire des dégâts dans les écosystèmes tels que ces derniers mettront des dizaines, voire des centaines d'années à se rétablir.

Il n'est pas surprenant que ces événements suscitent un intérêt considérable chez le public et qu'une série de questions soient posées à leur sujet : À quel point sont-ils inhabituels? Leur fréquence est-elle en train d'augmenter (ou de diminuer)? Le changement climatique a-t-il quelque chose à y voir? Quelles sont les probabilités que de tels phénomènes se reproduisent?

Certains aspects de ces questions ont été abordés dans le numéro spécial du « Sommaire du changement climatique » intitulé Phénomènes météorologiques extrêmes et changement climatique, et publié en 1998 par Environnement Canada. Le présent bulletin constitue une mise à jour de cette analyse, présentée sous la forme d'une discussion au cas par cas de divers types de conditions météorologiques inhabituelles qui sont survenus au Canada et à l'étranger au cours des cinq dernières années. Pour chacun d'entre eux, on présente les meilleures évaluations qu'il soit possible de faire quant aux coûts ou aux bénéfices socioéconomiques (lorsqu'elles sont disponibles) et on analyse leurs éventuels liens avec le changement climatique.

Automne 2002

Dans ce numéro...

Introduction	1
Récents épisodes météorologiques inhabituels, leurs répercussions et leurs liens avec le changement climatique	2
i. Phénomènes liés à la température ..	2
ii. Phénomènes liés à l'eau	3
iii. Tempêtes	5
iv. Comportement des océans et des glaces de mer	7
v. Infrastructures écologiques et sociales	7
Conclusion	10
Références	11

Évaluation Scientifique et Intégration • Service Météorologique du Canada (concours financier du Groupe de recherche et de développement énergétiques)

4905, rue Dufferin, Downsview (Ontario) M3H 5T4 • Téléphone: (416) 739-4432.

RÉCENTS ÉPISODES MÉTÉOROLOGIQUES INHABITUELS, LEURS RÉPERCUSSIONS ET LEURS LIENS AVEC LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Sources: Folland *et al.* (2001); Mitchell *et al.* (2001); Bulletin des tendances et des variations climatiques du SMC; NOAAa; Watson *et al.* (2001); Zwiers et Zhang (2002).

i) Phénomènes liés à la température

a) Températures annuelles et saisonnières inhabituelles

- *À l'échelle mondiale, 1998 semble avoir été l'année la plus chaude du dernier millénaire (2001 occupant sans contredit la deuxième place à cet égard), les années 1990, la décennie la plus chaude, et le XXe siècle, la période de cent ans la plus chaude.*
- *Au Canada, les températures se sont réchauffées d'environ 1 °C au cours du dernier siècle. De plus, 6 des 15 années les plus chaudes depuis 1948 (époque à laquelle a débuté la collecte de données sur la température dans l'ensemble du territoire canadien) se situent dans la dernière décennie; 1998 a été l'année la plus chaude et (jusqu'à l'été 2002), on a connu, pour les 19 des 20 dernières saisons, des températures supérieures à la normale.*
 - Aux échelles mondiale et régionale, le climat peut fluctuer considérablement d'une année et d'une décennie à l'autre en raison des variations naturelles du système climatique. Cependant, la multiplication d'années ou de saisons chaudes, ou des deux, au cours de la dernière décennie est inhabituelle, et de plus en plus difficile à expliquer par la variabilité naturelle.
 - Jusqu'à maintenant, ces changements concordent avec les simulations de l'incidence des activités humaines sur le système climatique produites par les modèles du climat.
 - Les spécialistes du GIEC en arrivent à la conclusion que la plus grande partie du réchauffement observé au cours des 50 dernières années est probablement attribuable à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre.
 - Selon les prévisions, les températures à l'échelle mondiale continueraient de monter en moyenne de 0,1 °C à 0,2 °C tous les dix ans au cours des décennies à venir, et le réchauffement, d'ici 2100, serait de l'ordre de 1,4 °C à 5,8 °C. On peut s'attendre à ce que les températures moyennes au Canada grimpent deux fois plus vite encore. Compte tenu de la variabilité naturelle, cela laisse supposer que les années et les saisons considérées comme extrêmement chaudes sous les régimes climatiques actuels seront plus fréquentes au cours des décennies à venir, et les années et les saisons extrêmement froides, moins nombreuses.

b) Hivers doux

- *Dans le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent, l'hiver 2001-2002 a été plus chaud de 4,8 °C que la moyenne, ce qui établit un nouveau record. La baisse des quantités de neige a permis aux compagnies d'assurance d'épargner des millions de dollars (diminution des réclamations consécutives aux accidents de la route), en plus de contribuer à réduire les dépenses provinciales et municipales pour le déneigement et l'épandage de sels de voirie. L'hiver 1994-1995, qui avait été semblable, avait abaissé les coûts d'entretien de 14 millions de dollars et ce, seulement pour les autoroutes provinciales en Ontario.*
 - Au cours du dernier siècle, on a observé une tendance significative à la baisse pour la fréquence des températures extrêmement basses et à la hausse pour la fréquence des températures extrêmement élevées dans le sud du Canada, en hiver et au printemps.
 - Le nombre d'accidents de la route au Canada tend à s'accroître de 50 % à 100 % pendant les épisodes de précipitations, les chutes de neige ayant des effets plus prononcés que la pluie.
 - Au fur et à mesure que le climat se réchauffe, on s'attend à ce que les hivers doux deviennent plus fréquents et les hivers rigoureux, moins. Dans le bassin des Grands Lacs, par exemple, un hiver comme celui que cette région a connu en 2001-2002 pourrait être considéré comme un hiver normal à la fin du XXI^e siècle, selon les prévisions.
 - Avec de tels hivers, on prévoit que la demande d'énergie pour le chauffage des bâtiments diminuera d'environ 30 % dans le sud du Canada et de 20 % dans les zones septentrionales.
 - Le réchauffement du climat pourrait également se traduire par une réduction de l'utilisation de sels de voirie dans l'est du Canada. À titre d'exemple, les estimations provisoires pour la région métropolitaine de Toronto, dans un climat où les concentrations de CO₂ auraient doublé, indiquent des baisses de l'ordre de 17 % à 71 % à cet égard.

Sources: Andrey *et al.* (2001); Andrey et Snow (1998); Anisimov *et al.* (2001); Bonsal *et al.* (2001); Cohen *et al.* (2001); Mercier (1998).

c) Vagues de chaleur estivales

- *À l'été 2001, le nombre de jours pendant lesquels les températures maximales ont dépassé les 30 °C, dans les régions du centre et de l'est du Canada, était de 2 à 4 fois supérieur à la moyenne de la période 1961-1990. Le temps sec et les émissions ininterrompues de gaz précurseurs du smog s'ajoutant à cela, il en a résulté l'un des étés les plus chauds et les plus brumeux, avec un nombre record de jours de smog.*
 - Pendant cet été-là, on a enregistré, à l'aéroport Pearson, à Toronto, 24 jours où la température a dépassé 30 °C; de plus, les autorités ont émis 23 avis de smog pour la région du sud de l'Ontario, un record. À deux reprises, le smog a duré cinq jours complets.
 - On prévoit qu'en 2050, la température estivale dépassera les 30 °C en moyenne environ un jour sur deux dans le sud de l'Ontario et un jour sur quatre à Calgary. Cela représente plus du quadruple de la fréquence actuelle.
 - Les vagues de chaleur extrême qui, aujourd'hui, se produisent tous les 80 ans, devraient survenir au moins une fois tous les 10 ans en 2050, selon les prévisions.
 - Les coûts liés à la climatisation des bâtiments en été connaîtront une hausse dans le sud du Canada. Dans le sud de l'Ontario, par exemple, l'écart entre la température extérieure et la température de l'air conditionné, en degrés, pourrait presque tripler d'ici 2090 par rapport aux valeurs actuelles.
 - Pour chaque degré de température apparente (la température réelle ajustée en fonction des effets de l'humidité de l'air) au-dessus de 32 °C, le taux de mortalité chez les personnes âgées, dans la région Toronto-Niagara, passe d'environ 0,9 pour 100 000 à 0,13 pour 100 000, ce qui signifie qu'au cours des 25 prochaines années, la fréquence accrue des vagues de chaleur pourrait provoquer la mort de 170 à 450 personnes âgées de plus dans cette région.

Sources. Cohen *et al.* (2001); Chiotti *et al.* (2002); Kharin et Zwiers (2000); Phillips (2002).

d) Allongement de la saison de croissance

- *En Alberta, les peupliers faux-trembles fleurissent maintenant quelque 26 jours plus tôt qu'il y a un siècle. Les données satellitaires indiquent également que, aux latitudes moyennes de l'hémisphère Nord, le début de la saison de croissance annuelle survient au moins une semaine plus tôt qu'en 1970.*
 - Entre 1900 et 1998, dans la plus grande partie du sud du Canada, le nombre de jours où les tem-

pératures sont extrêmement basses en hiver, au printemps et en été a progressivement diminué, les périodes sans gel se sont allongées et le nombre de degrés-jours de croissance a augmenté.

- D'ici la seconde moitié du XXI^e siècle, on s'attend à ce que le nombre de degrés-jours de croissance soit de 40 % à 100 % plus élevé qu'aujourd'hui, à peu près partout dans le sud du Canada (selon la région et le scénario climatique envisagés).
- Néanmoins, nombreuses sont les espèces végétales qui ne pourront migrer, en réponse à ces changements, assez rapidement pour empêcher que des bouleversements écologiques importants se produisent. Certaines espèces indigènes risquent de disparaître. De plus, les espèces se comportant comme des mauvaises herbes occuperont, du moins au début, une place prépondérante dans les futurs écosystèmes en évolution, parce qu'elles s'adaptent généralement plus vite aux changements de leur environnement.

Sources: Bonsal *et al.* (2001); Brklacich *et al.* (1998); Cohen *et al.* (2001); Myneni *et al.* (1997); Penuelas *et al.* (2001); Walther *et al.* (2002).

ii) Phénomènes liés à l'eau

a) Grandes sécheresses

- *Au cours de l'été 2001, une grande partie du sud du Canada a connu l'une des pires années de sécheresse depuis des décennies. Le sud de l'Alberta et de la Saskatchewan ont été des plus durement touchés, puisqu'il y avait déjà trois ans que ces régions connaissaient des conditions sèches. À Montréal, on a enregistré un record de 35 jours sans véritable pluie. Selon les estimations, la sécheresse de 2001 aurait coûté entre 4 et 5 milliards de dollars au secteur agricole des Prairies; au Québec, les pertes se seraient chiffrées à 200 millions de dollars pour cette industrie.*
 - La sécheresse d'une ampleur semblable qui a sévi en 1998 dans une partie importante du centre du Canada a causé des pertes de 4 milliards de dollars pour ce qui est des exportations de grain seulement.
 - De tels phénomènes se sont déjà produits dans le passé. Il se pourrait donc que les sécheresses survenues récemment soient entièrement imputables à la variabilité naturelle.
 - Les résultats de la plupart des modèles indiquent que les grandes sécheresses sont susceptibles de devenir plus fréquentes dans les régions conti-

nentales intérieures des latitudes moyennes. Par exemple, d'après une étude en particulier, si aucun effort n'est consenti pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, on peut présumer que les sécheresses régionales dans le centre de l'Amérique du Nord pendant lesquelles on connaît plus de 30 jours consécutifs sans précipitations, phénomènes qui, à l'heure actuelle, se produisent environ une fois tous les 50 ans, surviendront une fois tous les 15 à 20 ans en 2070.

Sources: Arnell *et al.* (2001); Garnett (2002); Nyirfa et Harron (2001); Gregory (1997); Cohen *et al.* (2001); Cubasch *et al.* (2001).

b) Débit et niveau des lacs et des rivières

- *Depuis plusieurs années, le niveau de l'eau dans les Grands Lacs, dans le Saint-Laurent et dans nombre d'autres lacs du centre et de l'est du Canada atteint des minimums sans précédent au cours des trois décennies passées. Bien que le niveau ait remonté en 2002, il demeure sous la normale dans la plupart des cas.*
 - La brusque chute récente du niveau de l'eau dans les Grands Lacs semble avoir pour origine la combinaison de plusieurs saisons pendant lesquelles les précipitations ont été moins abondantes que la normale et d'une succession de saisons anormalement chaudes et de saisons de glace plus courtes que d'habitude, deux facteurs qui contribuent à accroître l'évaporation.
 - On peut croire, d'après les relevés des années passées, qu'au début des années 1960 et dans les années 1930, le niveau de l'eau dans les Grands Lacs a été inférieur aux valeurs actuelles et ce, principalement en raison de la variabilité naturelle.
 - Le débit moyen des cours d'eau du sud du Canada a diminué au cours des 50 dernières années.
 - Diverses études s'appuyant sur les projections issues des modèles du climat laissent à penser que, d'ici 2050, le niveau moyen de l'eau dans les Grands lacs atteindrait la valeur minimale enregistrée au cours du siècle passé, ou s'en approcherait.
 - Si le niveau de l'eau se situe autour de ces valeurs moyennes minimales, on peut s'attendre à ce que soient établis de nouveaux records de bas niveau de l'eau dans les décennies à venir, records qui seront significativement en dessous de ceux enregistrés auparavant. À l'inverse, il est peu probable que le niveau le plus haut qu'atteindront

les eaux soit de l'ordre des maximums records déjà enregistrés.

- De tels changements auront de fortes répercussions sur la qualité de l'eau, sur les populations de poissons d'eau douce et sur la compétition pour l'utilisation de l'eau.

Sources: Arora, V. K., et G. J. Boer (2001); Cohen *et al.* (2001); Lenters *et al.* (2001); Mortsch *et al.*; Nijssen *et al.* (2001); Schindler *et al.* (2001); Zhang *et al.* (2001a).

c) Débordement des rivières

- *Le débordement du Saguenay, en 1996, a été causé par d'importantes précipitations de pluie qui se sont abattues pendant plusieurs jours sur des terres déjà saturées d'eau; il a entraîné des dommages évalués à plus de 1 milliard de dollars.*
- *Le débordement de la rivière Rouge, en 1997, a (entre autres) pour origine des accumulations de neige considérables dans la région du cours supérieur de la rivière; il a obligé les autorités à évacuer quelque 25 000 personnes.*
 - Rien n'indique que le nombre total d'événements de précipitations extrêmes a augmenté dans l'ensemble du Canada au cours des dernières décennies. Cependant, il arrive de plus en plus souvent, dans l'est du Canada, de recevoir des précipitations intenses au printemps.
 - Tout comme les grandes sécheresses, les débordements importants font partie des phénomènes occasionnels qui relèvent de la variabilité naturelle du climat, et il n'est pas possible d'attribuer directement des événements isolés à des causes d'envergure mondiale.
 - Néanmoins, l'analyse des projections générées par les modèles du climat du CCmaC indique que la fréquence de tels épisodes de précipitations intenses pourrait plus que doubler d'ici 2090 au Canada. Par exemple, un événement de ce type qu'on s'attend, aujourd'hui, à voir survenir une fois tous les 80 ans, pourrait alors se produire à des intervalles de 40 ans et moins.
 - Selon d'autres études, les épisodes de fortes précipitations en été (> 25 millimètres par jour) dans les régions centrales de l'Amérique du Nord pourraient s'accroître, en intensité, de 150 %. Ces résultats amènent le GIEC à conclure que nombre de secteurs pourraient recevoir davantage de précipitations intenses, et que l'ampleur ainsi que la fréquence des inondations sont susceptibles d'être plus grandes dans la plupart des régions.

- Une étude portant sur le sud de l'Alberta, qui se fondait sur des projections du climat futur, a conclu à une hausse de l'ordre de 30 % à 40 % de l'intensité des inondations centennales pour un climat où les concentrations de CO₂ auraient doublé.

Sources: Arnell *et al.* (2001); Cohen *et al.* (2001); Kharin et Zwiers (2000); Muzik (2001); Zhang *et al.* (2001b).

d) Inondations côtières

- *Le 21 janvier 2000, une onde de tempête exceptionnellement haute a provoqué des inondations à grande échelle et des dommages considérables à Charlottetown. On estime que près de 1 million de dollars ont été versés en indemnités à cette occasion.*
 - Au cours du siècle passé, le niveau moyen de la mer mesuré à Charlottetown (Île-du-Prince-Édouard) a monté de 32 centimètres; il s'agit du résultat de l'effet combiné de l'élévation planétaire du niveau de la mer et de l'affaissement des terres. Ainsi, la mer a recouvert plus de 15 hectares de terres littorales, d'une valeur approximative de 900 000 dollars.
 - Les inondations causent des dégâts à Charlottetown dès que le niveau de la mer dépasse de 3,6 mètres le zéro des cartes; ce seuil est maintenant franchi à peu près tous les 7 ans, le plus souvent lorsque, par ricochet, les tempêtes faisant rage au-dessus de l'océan amplifient la hauteur des marées (ondes de tempête).
 - L'onde de tempête de janvier 2000 a atteint 4,23 mètres au-dessus du zéro des cartes, ce qui arrive moins d'une fois tous les 100 ans.
 - Le GIEC estime qu'en moyenne, le niveau de la mer montera encore de 48 centimètres d'ici 2100; cependant, la hausse pourrait aussi bien atteindre 88 centimètres que s'en tenir à 9 centimètres. Comme le système climatique ne change pas de la même façon dans les différentes régions et que le comportement tectonique (affaissement et soulèvement des terres) varie d'un endroit à l'autre, les taux régionaux d'élévation du niveau de la mer pourraient être largement supérieurs ou inférieurs aux valeurs moyennes à l'échelle mondiale.
 - Dans ces scénarios, les inondations pourraient devenir un phénomène annuel à Charlottetown, et les fortes ondes de tempête, comme celle de janvier 2000, se produire environ une fois tous les dix ans.
 - On prévoit que le taux d'érosion futur des côtes de l'Île-du-Prince-Édouard, au fur et à mesure que le niveau de la mer montera, pourrait être

d'une fois et demie à deux fois celui du siècle passé. Dans le pire des cas, près de 10 % des actuelles propriétés côtières situées dans la zone étudiée seront englouties au cours des 20 années à venir et, dans les 100 prochaines années, presque la moitié.

Sources: Cubasch *et al.* (2001); McLean *et al.* (2001); McCulloch *et al.* (2001).

iii) Tempêtes

a) Orages de convection

- *En juillet 2000, une tornade d'intensité F3 a dévasté un terrain de camping près de Pine Lake, en Alberta, tuant 12 personnes et en blessant 130. À Edmonton, en 1987, une autre tornade, celle-là d'intensité F4, avait tué 27 personnes, obligé l'hospitalisation de 132 personnes et blessé plusieurs centaines d'autres et, enfin, entraîné pour 330 millions de dollars de dommages matériels.*
- *Le 21 août 2001, une tempête de grêle s'est abattue sur Winnipeg, et a obligé à verser une somme de 20 millions de dollars en indemnités pour les seuls dommages aux automobiles. En 1996, les averses de grêle ont causé des dégâts évalués à 400 millions de dollars dans la ville d'Edmonton.*
- *À l'été 2002, dans l'est du Canada, quatre personnes ont été tuées par la foudre dans des circonstances inhabituelles.*
 - Une soixantaine de tornades touchent chaque année le sud du Canada. Cependant, peu d'entre elles atteignent une intensité de degré 3 ou plus.
 - Rien n'indique que les orages, les tempêtes de grêle ou la foudre sont plus fréquents qu'auparavant.
 - Néanmoins, une étude canadienne portant sur les tornades dans les Prairies indique qu'elles surviennent maintenant plus tôt dans l'année, ce qui concorde avec l'actuel réchauffement des températures printanières.
 - Selon une étude connexe, le réchauffement du climat entraînerait une fréquence accrue des tornades dans les Prairies.
 - Les MCG ne parviennent pas à analyser les orages convectifs, et éclairent donc peu sur le comportement, à l'avenir, de telles tempêtes dans un climat plus chaud. Cependant, certaines études empiriques révèlent un accroissement de l'intensité des tempêtes de même qu'une intensification des décharges de foudre pendant les orages de l'ordre de 6 % pour chaque degré de réchauffement.

Sources: Cohen *et al.* (2001); Cubasch *et al.* (2001); Etkin (1995); Etkin *et al.* (2001).

b) Tempêtes hivernales

- *En 1998, le verglas qui s'est abattu sur l'est du Canada a privé quelque trois millions de personnes d'électricité, et les coûts qu'il a entraînés pour l'économie canadienne de cette région ont été de l'ordre de quelque six millions de dollars.*
- *En décembre 1996, une série de violentes tempêtes hivernales ont balayé la côte Ouest canadienne, laissant jusqu'à 85 cm de neige derrière elles et paralysant complètement les infrastructures et les commerces.*
- *Au cours de l'hiver 1998-1999, les chutes de neige ont totalisé près de 650 cm à St. John's, ce qui représente, en 130 ans d'enregistrement des observations, la plus grande quantité de neige reçue en une saison. De plus, au mois d'avril 1999, un nombre record de centimètres de neige — 68 — est tombé en 24 heures.*
 - Il semblerait que les tempêtes hivernales violentes soient en fait en régression dans le sud du Canada ces dernières décennies, mais que leur fréquence soit plus grande dans les régions septentrionales du pays.
 - On ne s'entend pas sur la façon dont le comportement des tempêtes hivernales aux latitudes moyennes changerait avec le réchauffement du climat. Selon une étude canadienne, dans l'hémisphère Nord, les tempêtes hivernales violentes pourraient devenir plus fréquentes dans une proportion de 30 % environ, mais cette augmentation serait surtout ressentie au-dessus des océans. On prévoit que les périodes d'enneigement raccourciraient s'il fait plus chaud sur Terre.
 - Bien que souvent, de nombreux facteurs puissent être à l'origine de graves tempêtes de verglas, la présence, juste au-dessus d'une couche d'air froid au niveau du sol, d'une couche d'air humide dont la température est légèrement supérieure au point de congélation est l'un des principaux. La persistance en est un autre. Sous un climat plus chaud, les masses d'air humide tiède seront susceptibles de se former plus souvent dans le sud du Canada au milieu de l'hiver. Par contre, bien que cet élément puisse contribuer à modifier les risques d'épisodes de pluie verglaçante et leur cycle saisonnier, on ne connaît pas encore de façon certaine l'incidence que pourrait avoir le changement climatique sur la probabilité de graves tempêtes de verglas.

Sources: Cohen *et al.* (2001); Cubasch *et al.* (2001); Lambert (1996); Zhang *et al.* (2001b).

c) Tempêtes tropicales

- *En 2001, quatre tempêtes tropicales consécutives ont balayé l'est de Terre-Neuve, chacune y déversant plus de 100 millimètres de pluie. La pire d'entre elles, l'ex-tempête tropicale Gabrielle, a largué 160 millimètres de pluie en 10 heures sur Cape Race et 90 millimètres sur St. John's en 6 heures — un record. Les dommages causés dans la péninsule d'Avalon par les inondations liées à cette tempête ont été évalués à 5,5 millions de dollars. Pendant le passage de la tempête tropicale Karen, les rafales de vent de terre, près de Halifax, ont dépassé les 100 kilomètres-heure, et 46 millimètres de pluie se sont abattus sur Yarmouth en quelques heures.*
- *En septembre 1999, la tempête tropicale Gert a été à l'origine d'inondations qui ont causé des dommages, au Nouveau-Brunswick et à l'Île-du-Prince-Édouard, dont la valeur a dépassé 14 millions de dollars. Il faut compter encore 2 millions de dollars de dégâts aux installations côtières et aux bateaux dans la péninsule d'Avalon, provoqués par le déferlement des vagues pendant la tempête.*
 - D'après les statistiques, un cyclone tropical touche terre en Nouvelle-Écosse une fois tous les 2,4 ans et, à Terre-Neuve, une fois tous les 1,4 an.
 - Ces dernières années, les ouragans violents sur l'océan Atlantique sont devenus plus fréquents qu'ils ne l'étaient au cours des décennies précédentes, ce qui entraîne une augmentation notable des pertes économiques liés à de tels phénomènes par rapport aux décennies antérieures. À lui seul, l'ouragan Andrew (1992) a causé environ 25 milliards de dollars de dommages.
 - Cependant, certains indices laissent croire que la fréquence accrue d'ouragans violents dans l'Atlantique Nord pourrait ne représenter qu'un retour aux conditions enregistrées pendant la première moitié du XX^e siècle, et peut-être relever d'une oscillation naturelle, à long terme, liée aux changements de la circulation océanique. Il n'y a donc aucune preuve que l'augmentation du nombre d'ouragans soit due au changement climatique. Les spécialistes pensent que cette amplification de l'activité pourrait se maintenir pendant plusieurs décennies, indépendamment de toute variation que pourrait entraîner le changement climatique dans l'avenir.
 - On ne sait pas encore exactement quel effet le changement climatique aura sur le nombre total de tempêtes tropicales. Certaines études

indiquent que l'intensité maximale des ouragans pourrait augmenter de 3 % à 10 % par rapport à ce qu'elle est aujourd'hui.

Sources. Knutson *et al.* (2001); Elsner *et al.* (2001); Goldenberg *et al.* (2001); Environnement Canada, Région de l'Atlantique; BPIEPC (2001).

iv) Comportement des océans et des glaces de mer

a) El Niño/La Niña

- *Durant l'épisode El Niño de 1997-1998, qui a été très intense, les températures hivernales partout dans le sud du Canada sont demeurées de 2 °C à 7 °C au-dessus des moyennes à long terme, et de grandes zones des Prairies canadiennes et de l'est du Canada, ont reçu moins de 50 % de la quantité normale de précipitations hivernales. La tempête de verglas, en 1998, est attribuable — en partie du moins — à l'influence de cet El Niño.*
 - El Niño de 1997-1998 a été le plus intense de son genre à s'être produit depuis au moins 100 ans.
 - Le bouleversement des tendances météorologiques normales à l'échelle mondiale, provoqué par l'événement de 1997-1998, a été à la source de catastrophes naturelles importantes partout sur la planète. Le sud des États-Unis a été victime de graves inondations, de tornades et de tempêtes, pendant l'hiver, qui ont causé jusqu'à 1 milliard de dollars de dommages. Au Pérou, presque 1 000 km d'autoroutes longeant la côte ont été emportés par des glissements de terrain. De nombreux autres pays ont aussi subi divers types de conditions météorologiques extrêmes. L'épisode El Niño a également eu certains effets bénéfiques, par exemple la réduction des besoins de chauffage des bâtiments, en raison de la clémence de l'hiver, ainsi que la diminution de la fréquence des ouragans dans l'Atlantique. À l'échelle mondiale, on estime que, cette fois, El Niño, qui a été très violent, a coûté la vie à 24 000 personnes et causé pour plus de 34 milliards de dollars (nets) de dommages.
 - Peu d'études ont été menées au sujet des effets du changement climatique sur le comportement d'El Niño-La Niña; cependant, d'après certaines analyses, les épisodes El Niño et la Niña intenses deviendront plus fréquents à l'avenir, tandis que d'autres concluent que le changement sera minime.

Sources: Timmermann (2001); Collins (2000); Folland *et al.* (2001); NOAA.

b) Glaces de mer dans l'Arctique

- *En 1998, l'Arctique canadien a connu un été anormalement chaud; des records ont été établis quant à la distance entre l'extrémité sud de la banquise arctique, dans la mer de Beaufort, et la côte et, dans l'archipel de l'Arctique canadien, la couverture de glace a connu un minimum record.*
- *À l'automne 2001, la prise des glaces tardive a retardé de plus d'une semaine la migration des ours blancs sur les glaces de la baie d'Hudson pour leur période d'alimentation hivernale.*
 - Au cours des 50 dernières années, la couverture de glace dans l'Arctique a diminué en superficie dans une proportion de 10 % à 15 %; son épaisseur moyenne s'est elle aussi considérablement amoindrie.
 - D'après les observations, la santé des ours blancs dans la baie d'Hudson déclinerait, et le nombre de nouveau-nés aurait diminué, ce qu'on explique par le raccourcissement des périodes d'alimentation dû à la prise des glaces tardive et à leur rupture hâtive.
 - Le modèle canadien du climat prévoit qu'avant 2100, les glaces dans l'océan Arctique seront complètement fondues à la fin de l'été.
 - La diminution de la couverture de glace a des conséquences graves pour les espèces animales de l'Arctique qui dépendent d'elle (p. ex. les ours blancs et les phoques), pour le mode de vie traditionnel des Inuits ainsi que pour la souveraineté du Canada dans le Nord.

Sources: Anisimov *et al.* (2001); Cohen *et al.* (2001); Huebert (2001); Nelson (2001); Stirling *et al.* (1999).

v) Infrastructures écologiques et sociales

a) Dégradation du pergélisol

- *Les résidants de l'ouest de l'Arctique canadien signalent la dégradation du pergélisol, qui entraîne des glissements de terrain à grande échelle le long des côtes et sur les rives des lacs et rivières à l'intérieur des terres. À titre d'exemple, à Sachs Harbour (île Banks), un lac s'est vidé dans l'océan à cause du dégel du pergélisol, provoquant la mort des poissons d'eau douce et faisant bouger les fondations des édifices de la collectivité.*
 - Les températures dans le district du Mackenzie se sont réchauffées de 2 °C depuis 1948 et, dans la toundra canadienne, de 1,1 °C. L'année la plus chaude a été 1998 : on a alors enregistré des températures supérieures de 3,9 °C et 3,3 °C, respectivement, aux moyennes à long terme pour ces deux régions.

- Le pergélisol forme 24,5 % des terres dans l'hémisphère Nord. Nombreux sont les glissements de terrain dans l'Arctique qui sont déclenchés par les effets de phénomènes climatiques extrêmes sur la profondeur à partir de laquelle dégèle le sol et sur la stabilité du pergélisol. Cependant, on manque de données de qualité satisfaisante sur les tendances à long terme pour ce qui est de la fréquence de tels glissements de terrain.
- L'augmentation de la couverture de neige ou la hausse de la température de l'air, ou les deux, aggraveraient la dégradation du pergélisol. La superficie de pergélisol dans l'hémisphère Nord pourrait diminuer de 12 % à 22 % si le changement climatique se déroule comme le prévoient les scénarios typiques élaborés pour le prochain siècle. Au Canada, ce recul du pergélisol pourrait atteindre les 50 % de diminution.
- Une grande partie de l'Extrême-Arctique serait menacée par la dégradation du pergélisol, qui accroîtrait l'instabilité des terres et, par là même, les dommages connexes aux infrastructures socioéconomiques telles que les oléoducs, les conduites d'égout, les routes et les bâtiments. Par exemple, environ 40 % des collectivités du bassin du Mackenzie sont installées sur des terres de type pergélisol discontinu étendu. À Norman Wells, endroit particulièrement vulnérable, un type de climat où le CO₂ serait deux fois plus abondant pourrait provoquer, dans des poches de pergélisol, des affaissements du sol d'une profondeur de 0,5 mètre à 1,25 mètre.

Sources: Anisimov *et al.* (2001); Ashford et Castleden (2001); Aylesworth et Duk-Rodlin (1997); Bone *et al.* (1997); Malcolm *et al.* (2001).

b) Répercussions sur l'environnement

- *En 1998, en même temps que les températures annuelles atteignaient des sommets jamais enregistrés au Canada et que nombre de régions forestières connaissaient des conditions sèches, d'importants incendies ont ravagé quelque 3,7 millions d'hectares de forêts sur le territoire canadien. En 2002, à la mi-été, la superficie de forêts détruite par le feu dépassait déjà de 70 % la moyenne pour la décennie passée.*
- *Une importante invasion de dendroctones du pin sévit actuellement en Colombie-Britannique et menace d'endommager gravement de vastes zones de forêts dans cette province ainsi qu'en Alberta. Au printemps 2002, on estimait que la valeur des forêts infestées, en Colombie-Britannique seulement,*

dépassait les quatre milliards de dollars. Les spécialistes voient un lien entre ce phénomène et l'absence d'hivers rigoureux dans la région au cours des dernières décennies.

- *Les résidents de l'ouest du Nunavut ont remarqué l'arrivée de nouvelles espèces d'oiseaux dans leur région, comme l'hirondelle rustique et le merle d'Amérique, ainsi que la prolifération des mouches et des moustiques, qui tourmentent tant les humains que les animaux.*
 - Do depuis 1980, environ 2,4 millions d'hectares de forêts sont détruits par le feu chaque année en moyenne au Canada, ce qui représente une hausse notable par rapport aux pertes moyennes subies au cours des décennies antérieures à 1980, s'expliquant, en partie du moins, par un cycle naturel à long terme mettant en jeu le vieillissement des forêts au Canada, qui les rend plus sujettes à prendre feu. Cependant, d'autres éléments laissent soupçonner que le climat joue également un rôle important. Le taux de destruction annuel fluctue beaucoup d'une année à l'autre, notamment à cause de la variation des conditions météorologiques propices aux incendies. Par exemple, les années où se sont produits les pires incendies de forêt (1989 et 1995), plus de 7 millions d'hectares ont été détruits annuellement; les années où les feux de forêt ont été les plus rares (1978 et 2000), c'est 0,5 million d'hectares qui ont été dévastés.
 - D'après les projections, au fur et à mesure que les climats se réchaufferont au cours des 50 ans à venir, la gravité des conditions météorologiques propices aux incendies de forêt pourrait s'accroître de 50 % en moyenne dans l'ouest et le centre du Canada, et la saison des feux, s'allonger de trois semaines. Dans le Nord-Ouest canadien, il est possible que les risques diminuent à cause de l'augmentation des précipitations.
 - On s'attend à ce que l'adoucissement des hivers et l'allongement de la saison de reproduction amènent un accroissement notable des risques d'infestation par les insectes et d'invasion par des espèces d'insectes exotiques. En ce qui concerne le dendroctone du pin, l'absence de températures inférieures à -40 °C pendant l'hiver est un facteur déterminant.
 - Lorsque les arbres meurent à cause d'infestations par des insectes, les forêts deviennent aussi plus vulnérables aux incendies.
 - On pense aussi que le réchauffement des climats entraînera une expansion de l'aire de

répartition de nombreuses espèces de plantes, d'animaux, d'organismes aquatiques (marins ou non) et d'insectes vers le nord. Par contre, les changements dans la couverture de glace pourraient nuire aux espèces typiquement nordiques comme l'ours blanc, le phoque et le morse.

Sources: Anisimov *et al.* (2001); Rapport national sur la situation des feux de forêt du SCF; Conseil canadien des ministres des forêts; Cohen *et al.* (2001); Flannigan *et al.* (2001); Malcolm *et al.*; Skinner *et al.* (1999); Smith *et al.* (2001); Stirling *et al.* (1999).

c) Répercussions sur les collectivités

- *Les citoyens de Sachs Harbour signalent des changements dans le climat et l'environnement de leur région qui sont tout à fait inhabituels à leur connaissance : la prise des glaces, à l'automne, survient maintenant jusqu'à un mois plus tard qu'auparavant, et le dégel printanier se produit de plus en plus tôt, d'une année à l'autre. Les glaces de mer de plusieurs années sont de moins en moins vastes, et dérivent maintenant loin du hameau pendant l'été, emportant avec elles les phoques dont se nourrit la collectivité. L'hiver, la glace de mer est mince et fissurée, ce qui rend les déplacements dangereux, même pour les plus expérimentés parmi les chasseurs. Les tempêtes automnales augmentent en fréquence et en sévérité, et compliquent la navigation. On signale des éclairs et du tonnerre, une première dans cette région.*
 - Les changements ci-dessus concordent avec le réchauffement, critique, de 2 °C constaté dans le district du Mackenzie depuis 1948 et celui, plus modeste, de 1,1 °C survenu dans la toundra canadienne.
 - Les incidences du changement climatique futur perturberont particulièrement les peuples autochtones dont le mode de vie est traditionnel, puisque leurs pratiques de chasse et de cueillette s'en trouveront bouleversées. Cependant, elles créeront de nouvelles possibilités au chapitre économique puisque l'accès aux collectivités éloignées comme celles de l'Arctique sera facilité.

Sources: Ashford et Castleden (2001); Aylesworth et Duk-Rodkin (1997); Bone *et al.* (1997); Bonsal *et al.* (2001).

d) Coût social total des catastrophes liées aux conditions météorologiques

- *Au cours des années 1990, un total planétaire de quelque 2 000 catastrophes liées aux conditions météorologiques a entraîné la mort de 330 000 personnes et en a déplacé 1,9 milliard.*
- *Le rapport 2001 de fin d'exercice de La Munich, Compagnie de Réassurance, indique que, dans le monde, 700 catastrophes naturelles, au total, ont coûté la vie à 25 000 personnes et entraîné des pertes économiques se chiffrant à 36 milliards de dollars américains, dont 11,5 milliards étaient assurés. De ce dernier montant, qui constitue une somme record de paiements d'assurance, 91 % étaient attribuables à des tempêtes de vent et à des inondations.*
- *Au Canada, les dommages matériels, dans les années 1990, ont dépassé les six milliards de dollars canadiens. La tempête de verglas de 1998 à elle seule a tué 28 Canadiens et obligé les gouvernements et les compagnies d'assurance à verser environ 2,5 milliards de dollars canadiens aux victimes du désastre.*
 - Les pertes économiques mondiales dues aux catastrophes naturelles se sont décuplées au cours des 40 dernières années, grimant à 40 milliards de dollars américains en moyenne par année dans les années 1990 (en dollars américains de 1999). On observe des tendances semblables en Amérique du Nord.
 - Une grande partie de cette hausse est attribuable à des facteurs démographiques (population croissante et plus riche dans les régions vulnérables, diminution des investissements de l'État dans les infrastructures, etc.). Néanmoins, selon les experts en sinistres, certains éléments permettent de croire à un accroissement du nombre d'épisodes de conditions météorologiques extrêmes au cours des récentes décennies. Le nombre de catastrophes imputables aux conditions météorologiques, dans le monde, a crû trois fois plus rapidement que le nombre de catastrophes non imputables à cette cause.
 - On s'attend à ce que la prolifération prévue de nombreux types de phénomènes météorologiques extrêmes liés au changement climatique ait des effets de plus en plus néfastes sur l'économie des pays. Dans les pays développés, l'industrie des assurances pourrait réagir en restreignant la gamme de catastrophes couvertes. Dans les pays en développement, où moins de personnes sont assurées ou ont accès aux ressources nécessaires pour faire face au changement, les coûts humains pourraient être beaucoup plus importants.

Sources: Berz *et al.* (1999); Kovacs (2001); Munich Re (2002); Rice (2001); Smith *et al.* (2001).

e) **Catastrophes écologiques et réfugiés de l'environnement**

- *En novembre 2001, le petit État insulaire de Tuvalu, de faible altitude, a demandé à l'Australie et à la Nouvelle-Zélande d'accueillir les citoyens de Tuvalu à titre de réfugiés de l'environnement si les effets futurs de la hausse du niveau de la mer, tels qu'ils sont prévus, obligent à évacuer l'île.*
 - La montée du niveau de la mer dans la région a déjà entraîné une érosion substantielle des côtes de Tuvalu et d'autres petits États insulaires du Pacifique.
 - Une étude menée au Royaume-Uni indique que les populations, dans le monde, qui sont vulnérables aux ondes de tempête pourraient être cinq fois plus nombreuses si le niveau de la mer grimpe de 40 centimètres (valeur prévue pour 2080), ce qui signifie qu'au moins 200 millions de personnes de plus deviendraient à risque.
 - En 2080, il se pourrait que jusqu'à trois milliards de personnes vivent dans des pays menacés par l'eau.
 - Quatre-vingt millions de personnes de plus qu'aujourd'hui pourraient souffrir de malnutrition en 2080.
 - D'après certaines études canadiennes, nombreux sont les conflits internationaux qui ont pour origine le manque de ressources. On peut s'attendre à ce que le nombre de conflits de ce type augmente parallèlement aux effets prévus du changement climatique sur les régions en développement.
 - Le Canada est reconnu dans le monde entier pour sa participation au maintien de la paix dans les zones de conflit, son aide aux victimes de catastrophes naturelles ainsi que pour la terre d'asile qu'il constitue pour les réfugiés. Il est fort probable que ces demandes s'intensifient au fur et à mesure que les effets du changement climatique forceront de vastes groupes de personnes à s'exiler et feront croître le nombre de conflits liés aux ressources.

Sources: Homer-Dixon (1999); McLean *et al.* (2001); Arnell *et al.* (2001); Gitay *et al.* (2001).

Conclusion

Ensemble, les exemples ci-dessus de conditions météorologiques inhabituelles survenues récemment, de leurs répercussions et des catastrophes connexes font surgir un certain nombre de réflexions qui ont un lien direct avec l'évaluation de la vulnérabilité socioéconomique au changement climatique à venir.

- Les phénomènes météorologiques qui ne font pas partie du régime météorologique attendu et auquel les écosystèmes et les infrastructures socioéconomiques locaux se sont adaptés au fil du temps peuvent avoir des effets considérables sur les plans écologique, social et économique. Certains de ces effets peuvent être bénéfiques, mais la plupart sont néfastes. Parmi les événements et tendances climatologiques observés récemment à l'échelle tant mondiale que canadienne, certains n'ont pu être classés jusqu'à maintenant de façon indubitable comme phénomènes attribuables à la variabilité naturelle du climat ou, au contraire, comme conséquences du changement climatique provoqué par l'homme. D'autres phénomènes, par exemple la hausse récente des températures et les changements écologiques qui en ont découlé, sont sans précédent dans l'histoire des enregistrements météorologiques ou dans la mémoire des peuples autochtones, ou les deux, et deviennent de plus en plus difficiles à expliquer en se fondant uniquement sur des facteurs naturels. On peut difficilement nier que ce sont déjà là des indices que le climat est en train de changer sous l'influence de l'homme. La plupart des événements mentionnés dans le texte correspondent aux phénomènes auxquels on pourrait s'attendre plus souvent dans un monde qui se serait réchauffé, et illustrent bien, par conséquent, certaines facettes importantes du changement climatique futur; par leur entremise, la façon dont ce changement pourrait compromettre notre bien-être est constamment rappelée à notre mémoire.

RÉFÉRENCES

Andrey, J., Mills, B., et J. Vandermolen. 2001. *Weather Information and Road Safety*. ICLR Paper Series No.15, Institut de prévention des sinistres catastrophiques, London, Ontario. 36 p.

Andrey, J., et A. Snow. 1998. Secteur du transport. Chapitre 8 du vol. VII de *l'Étude pan-canadienne sur la variabilité et le changement climatiques* (publié sous la direction de G. Koshida et W. Avis). Environnement Canada.

Anisimov, O., Fitzharris, B., Hagen, J. O., *et al.* 2001. Polar Regions (Arctic and Antarctic). Chapter 16 in *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution du Groupe de travail II au Troisième Rapport d'évaluation du GIEC*. Cambridge Press. (en cours de traduction)

Arnell, N., Liu, C., Compagnucci, R., *et al.* 2001. Hydrology and Water Resources. Chapter 4 in *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution du Groupe de travail II au Troisième Rapport d'évaluation du GIEC. Cambridge Press. (en cours de traduction)

Arora, V. K., et G. J. Boer. 2001. Effects of Simulated Climate Change on the Hydrology of Major River Basins. *JGR* 106D:3335-3348.

Ashford, G., et J. Castleden. 2001. *Inuit Observations on Climate Change Final Report*. Institut international du développement durable.

Aylesworth, J. M., et A. Duk-Rodkin. 1997. Landslides and permafrost in the Mackenzie Valley. Dans *le rapport final de l'Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie* (publié sous la direction de S. Cohen), p. 118-122. Environnement Canada. (résumé des résultats de l'Étude disponible en français)

Berz, G. 1999. Catastrophes and Climate Change: Concerns and Possible Countermeasures of the Insurance Industry. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 4:283-293.

Bone, R., Long, S., et P. McPherson. Settlements in the Mackenzie Basin: Now and in the Future 2050. Dans *le rapport final de l'Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie* (publié sous la direction de S. Cohen), p. 265-271. Environnement Canada. (résumé des résultats de l'Étude disponible en français)

Bonsal, B. R., Zhang, X., Vincent, L.A., et W. D. Hogg. 2001. Characteristics of Daily and Extreme Temperatures over Canada. *J. Climate* 14:1959-1976.

Brklacich, M., Bryant, C., Veenhof, B., et A. Beauchesne. 1998. Répercussions du changement climatique mondial sur l'agriculture canadienne : revue et évaluation de la recherche entre 1984 et 1997. Chapitre 4 du vol. VII de *l'Étude pan-canadienne sur la variabilité et le changement climatiques* (publié sous la direction de G. Koshida et W. Avis). Environnement Canada.

Conseil canadien des ministres des forêts. Statistiques sur les incendies de forêt, 1970-2001, à l'adresse http://nfdp.ccfm.org/frames2_f.htm.

Rapport national sur la situation des feux de forêt du SCF, à l'adresse http://www.nrcan-rncan.gc.ca/cfs-scf/science/prod-serv/firereport_f.html.

Chiotti, Q., Morton, I., Ogilvie, K., et A. Maarouf. 2002. Towards an Adaptation Action Plan: Climate Change and Health Effects in the Toronto-Niagara Region —Summary for Policy Makers (Toronto: Pollution Probe).

Cohen, S., Miller, C., Duncan, K., *et al.* 2001. North America. Chapter 15 in *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution du Groupe de travail II au Troisième Rapport d'évaluation du GIEC. Cambridge Press.

Collins, M. 2000. Understanding Uncertainties in the Response of ENSO to Greenhouse Warming. *Geophys Res Lett* 27(21): 3509-3512.

Cubasch, U., Meehl, G. A., Boer, G. J., *et al.* 2001. Projections of Future Climate Change. Chapter 9 in *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution du Groupe de travail I au Troisième Rapport d'évaluation du GIEC*. Cambridge Press.

Elsner, J. B., Bossak, B. H., *et al.* X-F. Niu. 2001. Secular Changes to the ENSO-U.S. Hurricane Relationship. *GRL* 28:4123-4126.

Environnement Canada, Région de l'Atlantique. Communications personnelles et données affichées dans le site Web http://www.ns.ec.gc.ca/weather/hurricane/index_f.html.

Etkin, D. 1995. Beyond the Year 2000, More Tornadoes in Western Canada? Implications from the Historical Records. *Natural Hazards* 12:19-27.

Etkin, D., Brun, S. E., Shabbar, A., et P. Joe. 2001. Tornado Climatology of Canada Revisited: Tornado Activity during Different Phases of ENSO. *Int. J. Climatology* 21:915-938.

Flannigan, M., Campbell, I., Wotton, M., *et al.* 2001. Future Fire in Canada's Boreal Forest: Paleoecology Results and General Circulation Model- Regional Climate Model Simulations. *Revue canadienne de recherche forestière*, vol 31, p.854-864. (résumé de l'article disponible en français).

- Folland, C. K., Karl, T. R., Christy, J. R., et al. 2001. Observed Climate Variability and Change. Chapter 2 in *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution du Groupe de travail I au Troisième Rapport d'évaluation du GIEC*. Cambridge Press.
- Garnett, R. 2002. The Canadian Prairie Drought for 2001: A Four Billion Dollar Shortfall? *Bulletin de la SCMO* no 30, p. 37-38.
- Gitay, H., Brown, S., Easterling, W., et al. 2001. Ecosystems and Their Goods and Services. Chapter 5 in *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution du Groupe de travail II au Troisième Rapport d'évaluation du GIEC*. Cambridge Press.
- Goldenberg, S. B., Landsea, C. W., Mestas-Nuñez, A. M., et W. M. Gray. 2001. The Recent Increase in Atlantic Hurricane Activity: Causes and Implications. *Science* 293:474-479.
- Gregory, J. M., Mitchell, J. F.B., et A. J. Brady. 1997. Summer Drought in Northern Latitudes in a Time Dependent CO₂ Climate Experiment. *J. Climate* 10:662-686.
- Homer-Dixon, T. 1999. *Environment, Scarcity, and Violence*. Princeton University Press.
- Huebert, R. 2001. Impact du changement climatique sur le passage du Nord-Ouest. *ISUMA* (Revue canadienne de recherche sur les politiques), vol. 2, no 4 (hiver 2001), p. 92-101.
- Kharin, V.V., et F. W. Zwiers. 2000. Changes in the Extremes in an Ensemble of Transient Climate Simulations With a Coupled Atmosphere-Ocean GCM. *J.Climate* 13:3760-3788.
- Knutson, T. R., Tuleya, R. E., Shen, W., et I. Ginis. 2001. Impact of CO₂-induced Warming on Hurricane Intensities as Simulated in a Hurricane Model With Ocean Coupling. *J. Climate* 14:2458-2468.
- Kovacs, P. J. E. 2001. Les assureurs canadiens préconisent une meilleure protection de la collectivité contre les phénomènes météorologiques exceptionnels, *ISUMA* (Revue canadienne de recherche sur les politiques), vol. 2, no 4 (hiver 2001), p. 60-65.
- Lambert, S. (1996). Intense extratropical Northern Hemisphere winter cyclone events: 1891-1991. *J. Geophysical Research* 101:21319-21325.
- Malcolm, J. R., Markham, A., et R. P. Neilson. 2001. Can Species Keep Up With Climate Change? *Conservation Biology in Practice* 2:24-25.
- Marteau, D. 2001. Citation dans Le Monde (France), édition du 19 novembre.
- McCulloch et al. 2001. *Les impacts côtiers du changement climatique et de la hausse du niveau de la mer sur l'Île-du-Prince-Édouard*. Projet FACC A041. Ressources naturelles Canada.
- McLean, R. F., Tsyban, A., Burkett, V., et al. 2001. Coastal Zones and Marine Ecosystems. Chapter 6 in *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution du Groupe de travail II au Troisième Rapport d'évaluation du GIEC*. Cambridge Press.
- Mercier, G. 1998. Secteur de l'énergie. Chapitre 7 du vol. VII de *l'Étude pan-canadienne sur la variabilité et le changement climatiques* (publié sous la direction de G. Koshida et W. Avis). Environnement Canada.
- Mitchell, J. F. B., Karoly, D. J., Hegerl, G. C., et al. 2001. Detection of Climate Change and Attribution of Causes. Chapter 12 of *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution du Groupe de travail I au Troisième Rapport d'évaluation du GIEC*. Cambridge Press.
- Mortsch, L., Hengeveld, H., Lister, M., et al. 2000. Climate Change Impacts on the Hydrology of the Great Lakes-St. Lawrence System. *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 25, p.153-179.
- Bulletin des tendances et des variations climatiques du SMC, à l'adresse <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/ccrm/bulletin>.
- Munich Re. 2002. Topics. Annual Review: Natural Catastrophes 2001. Munich, Germany. 44 p.
- Muzik, I. 2001. Sensitivity of Hydrologic Systems to Climate Change. *Revue canadienne des ressources hydriques*, vol. 26, p. 233-252.
- Myneni, R. B., Keeling, C. D., Tucker, C. J., et al. 1997. Increased Plant Growth in the Northern High Latitudes From 1981 to 1991. *Nature* 386:698-702.
- Nelson, F. E., Anisimov, O. A., et N. I. Shiklomanov. 2001. Subsidence Risk From Thawing Permafrost. *Nature* 410:889-890.
- Nijssen, B., O'Donnell, G. M., Hamlet, A. F., et D. P. Lettenmaier. 2001. Hydrologic Sensitivity of Global Rivers to Climate Change. *Climatic Change* 50:1-2:143-175.
- NOAAa. Données climatologiques mondiales, à l'adresse ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/anomalies/annual_land.and.ocean.ts.
- NOAAb. Données sur El Niño, à l'adresse <http://www.noaanews.noaa.gov/magazine/stories/mag24.htm>.

Nyirfa, W., et B. Harron. 2001. Évaluation de l'incidence du changement climatique sur les ressources agricoles des Prairies. Administration du rétablissement agricole des Prairies. Agriculture et Agroalimentaire Canada (<http://www.agr.ca/pfra/resource/climate.htm>).

BPIEPC. 2001. Base de données sur les désastres, version 3.3. Bureau de la protection des infrastructures essentielles et de la protection civile.

Penuelas, J., et I. Filella. 2001. Responses to a Warming World. *Science* 294: 5542: 793-795.

Phillips, D. 2002. Les dix principaux événements météorologiques canadiens de 2001. *Bulletin SCMO* no 30, p. 23-28.

Rice, T. 2001. Institute for Catastrophic Loss Reduction: Creating Winds of Change. UWO Centerpoint Western News. 26 avril.

Rothman, D. S., Demeritt, D., Chiotti, Q., et I. Burton. 1998. Évaluation des coûts liés au changement climatique : dimensions économiques des mesures d'adaptation et des impacts résiduels au Canada. Chapitre 1 du vol. VIII de *l'Étude pan-canadienne sur la variabilité et le changement climatiques* (publié sous la direction de N. Mayer et W. Avis). Environnement Canada.

Schindler, D. W. 2001. The Cumulative Effects of Climate Warming and Other Human Stresses on Canadian Freshwaters in the New Millennium. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, vol. 58, p.18-29.

Skinner, W. R., Stocks, B. J., Martell, D. L., Bonsal, B., et A. Shabbar. 1999. The Association Between Circulation Anomalies in the Mid-troposphere and Area Burned by Wildland Fire in Canada. *Theor. Appl. Climatol.* 63: 89-105..

Smith, J. B., Schellenhuber, H.-J., Mirza, M. M. Q., et al. 2001. Vulnerability to Climate Change and Reasons for Concern: A Synthesis. Chapter 19 in *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution du Groupe de travail II au Troisième Rapport d'évaluation du GIEC*. Cambridge Press.

Stirling, I., Lunn, N. J., et J. Iacozza. 1999. Long-term Trends in the Population Ecology of Polar Bears in Western Hudson Bay in Relation to Climate Change. *Arctic* 52:294-306.

Timmermann, A. 2001. Changes of ENSO Stability Due to Greenhouse Warming. *GRL* 28:2061-2064.

Walther, G.-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., et al. 2002. Ecological Responses to Recent Climate Change. *Nature* 416: 389-395.

Watson, R.T., et Core Writin Team (comité de direction de la publication). 2001. *Climate Change 2001: Synthesis Report. Contribution des Groupes de travail I, II et III au Troisième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Cambridge University Press.

Zhang, X., Harvey, K. D., Hogg, W. D., et T. R. Yuzyk. 2001a. Trends in Canadian Streamflow. *Water Resources Research* 37:987-998.

Zhang, X., Hogg, W. D., et E. Mekis. 2001b. Spatial and Temporal Characteristics of Heavy Precipitation Events Over Canada. *J. Climate* 14:1923-1936.

Zwiers, F., et X. Zhang. 2002. Towards Regional Scale Climate Change Detection. Submitted to *J. Climate*.

Le contenu du présent bulletin a été rédigé par Henry Hengeveld, conseiller scientifique principal, Changement climatique, au SMC. L'auteur, tout en assumant l'entière responsabilité de l'exactitude de l'information présentée, tient à souligner qu'il a profité dans une large mesure des connaissances et de l'avis des collègues suivants au SMC : Ross Brown, Elizabeth Bush, Rob Cross, Patti Edwards, David Etkin, Denis Gosselin, Joan Klaassen, Grace Koshida, Brian Mills, Stu Porter, Amir Shabbar, John Stone Roxanne Vingarzan, Bruce Whiffen, X. Zhang, et F. Zwiers. Lianne Bellisario (du BPIEPC) a également fourni des renseignements à l'auteur.