



La science du changement climatique

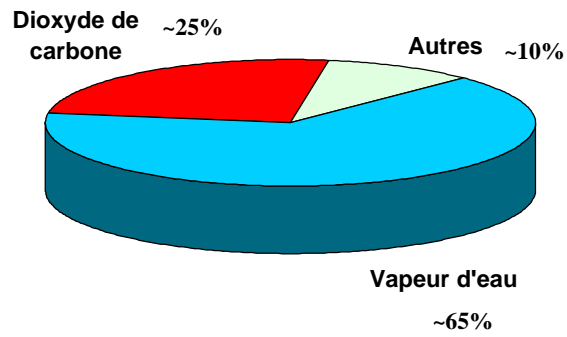
Volet 1: Introduction/GES/forçage radiatif

Mis à jour Avril 2001

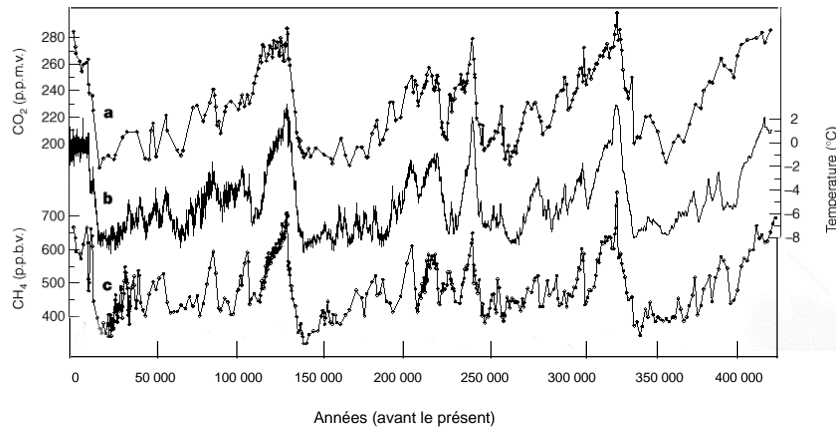


Canada

Principaux gaz contribuant à l'effet de serre naturel



Tendances historiques de la température et des concentrations de gaz à effet de serre dans l'Antarctique



Source : Petit *et al.* 1999.

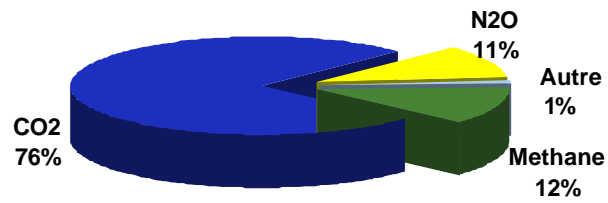
Les carottes de glace sont une excellente source d'information sur les climats passés de la planète et sur la composition de l'atmosphère.

Les carottes de glace prélevées dans l'Antarctique révèlent de faibles concentrations de CO₂ et de méthane au cours des périodes glaciaires et des concentrations élevées au cours des interglaciaires.

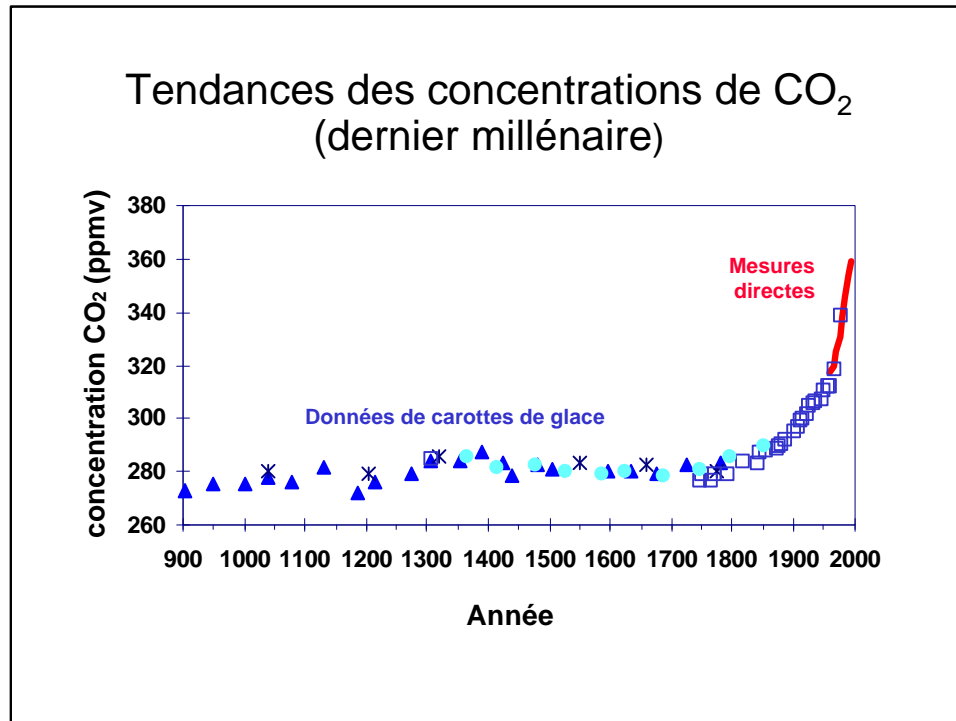
Ces variations des concentrations de gaz à effet de serre sont en étroite corrélation avec les fluctuations de la température.

D'où l'importance du rôle des gaz à effet de serre dans les variations de la température à l'échelle du globe.

Émissions de gaz à effet de serre du Canada par gaz pour 1996



Total des émissions ~ 671 Mt

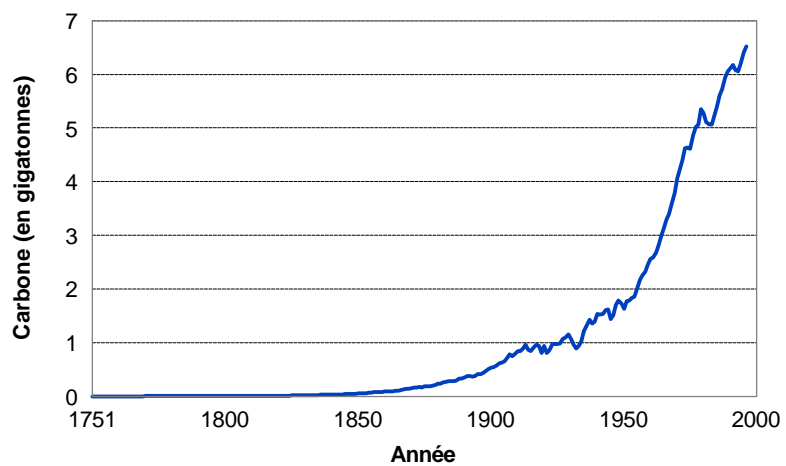


Les données provenant des carottes de glace du Groenland et de l'Antarctique montrent que les concentrations atmosphériques de CO₂ ont été remarquablement stables pendant les 10 000 dernières années, ne présentant qu'un faible écart de variation d'environ 280 parties par million en volume (ppmv).

Dans les 400 000 dernières années, et jusqu'à il y a 200 ans, les valeurs les plus élevées de CO₂ semblent inférieures à 300 ppmv.

Les mesures tant glaciologiques qu'atmosphériques indiquent qu'il y a eu au cours des deux derniers siècles une hausse de 30 % par rapport aux niveaux pré-industriels.

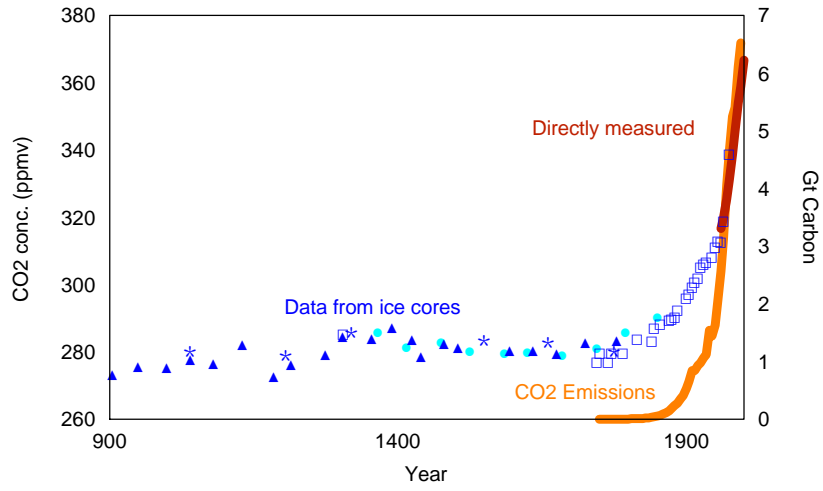
Tendances mondiales des émissions de CO₂ attribuables aux combustibles fossiles



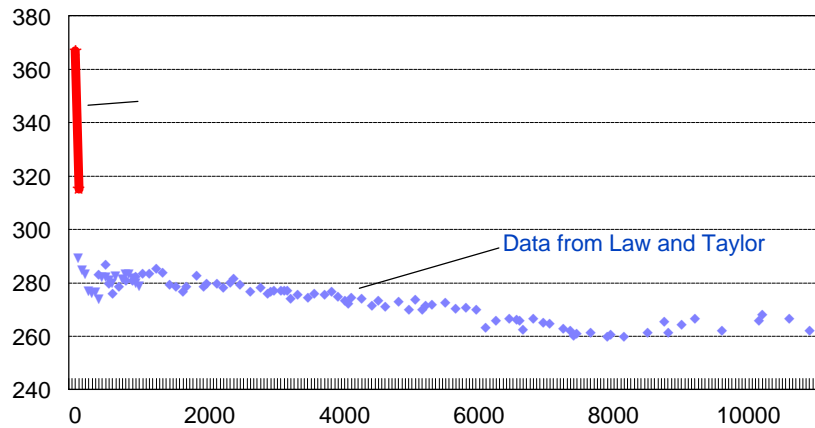
Source: Carbon Dioxide Information Analysis Center.

Trends in CO₂ Concentrations

2



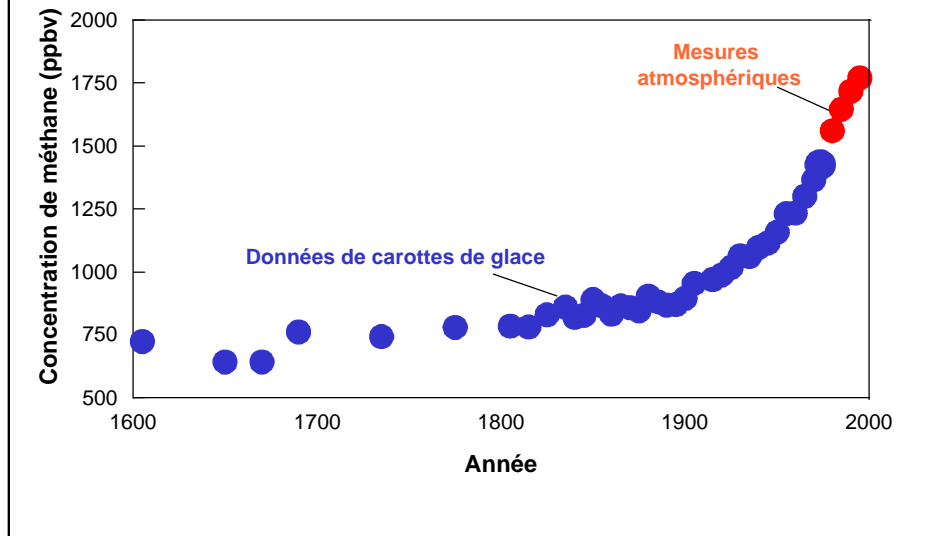
CO₂ Concentrations Past 10,000 Years



Source: Indermuhle et al. Nature 398:122 (1999); CDIAC

- Ice core data is from high resolution Antarctic ice cores as reported by Indermuhle *et al.* in Nature 398:121-126.
- Data suggest CO₂ concentrations during the Holocene increased from a low of 260 ppmv about 7000 years ago to values of about 280 ppmv during the past several thousand years.
- Lower concentrations during the mid-Holocene appear to be linked to a period of enhanced carbon uptake by forests during post-glacial growth
- Concentrations dipped slightly during the Little Ice Age several centuries ago
- The rates of change in CO₂ concentrations during these natural variations are two orders of magnitude less than that observed since the industrial revolution.

Tendances des concentrations de méthane de 1600 à aujourd'hui

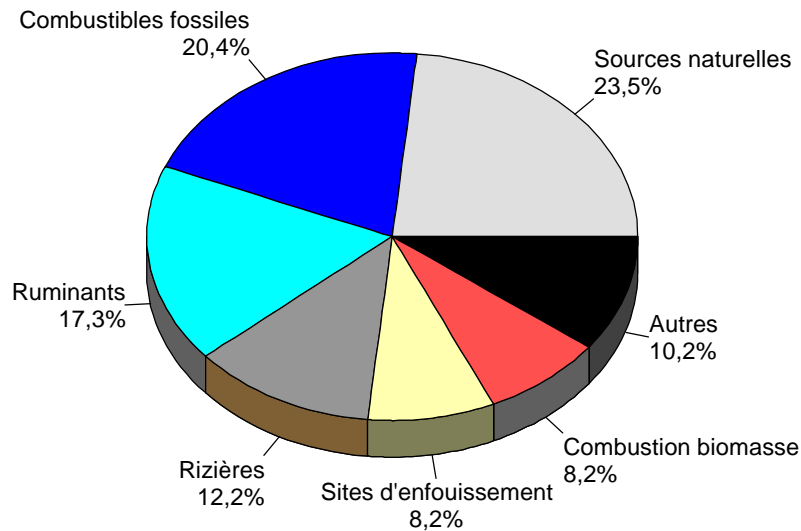


Les données provenant des carottes de glace du Groenland et de l'Antarctique montrent que les concentrations de méthane ont légèrement oscillé autour d'une valeur moyenne de 750 parties par milliard en volume (ppbv) au cours de la période pré-industrielle des 10 000 dernières années.

Les valeurs les plus élevées pouvant être détectées dans les données glaciologiques dans les 400 000 dernières années semblent être inférieures à 800 ppbv.

Les concentrations sont montées jusqu'à environ 145 % au-dessus de ce niveau au cours des deux derniers siècles.

Sources mondiales d'émissions de méthane



Plus de 75 % des émissions mondiales actuelles de méthane proviennent de sources anthropiques.

Les sources premières sont la production/l'utilisation de combustibles fossiles et les activités agricoles. Les émissions des milieux humides sont la principale source naturelle de méthane.

PROTOCOLE DE KYOTO GAZ À EFFET DE SERRE

Gaz	Temps de vie dans l'atmosphère (ans)	PRG
CO ₂	Variable	1
CH ₄	12	21
N ₂ O	120	310
HFC	de 1 à 200+	de 140 à 11700
PFC	de 3000 à 50000	de 6500 à 9200
SF ₆	3200	23900

Source: Houghton *et al.* 1996.

On tente avec le potentiel de réchauffement global (PRG) de fournir aux décideurs un outil pour comparer les effets relatifs des divers gaz à effet de serre sur le climat avec ceux des émissions d'équivalent CO₂.

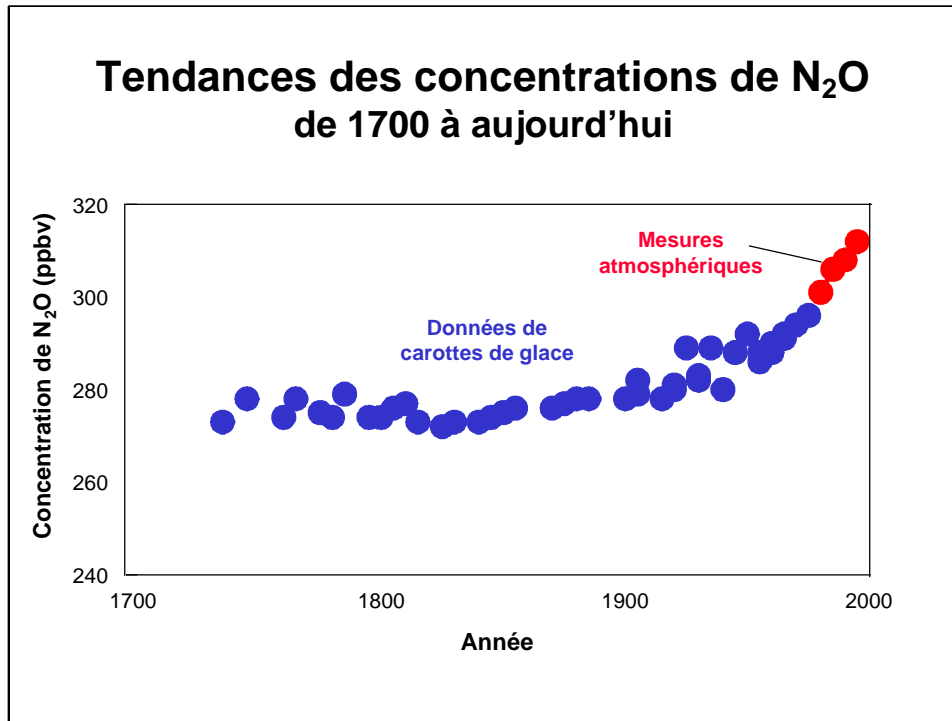
Les valeurs de PRG indiquées au tableau sont calculées en intégrant l'effet des émissions sur le climat au cours des 100 prochaines années.

Molécule pour molécule, de tous les gaz à effet de serre importants, c'est le CO₂ qui est le moins efficace. En comparaison, le méthane absorbe et renvoie environ 21 fois plus d'énergie thermique.

Toutefois, la contribution globale de chacun des gaz à effet de serre dépend également de plusieurs autres facteurs, dont :

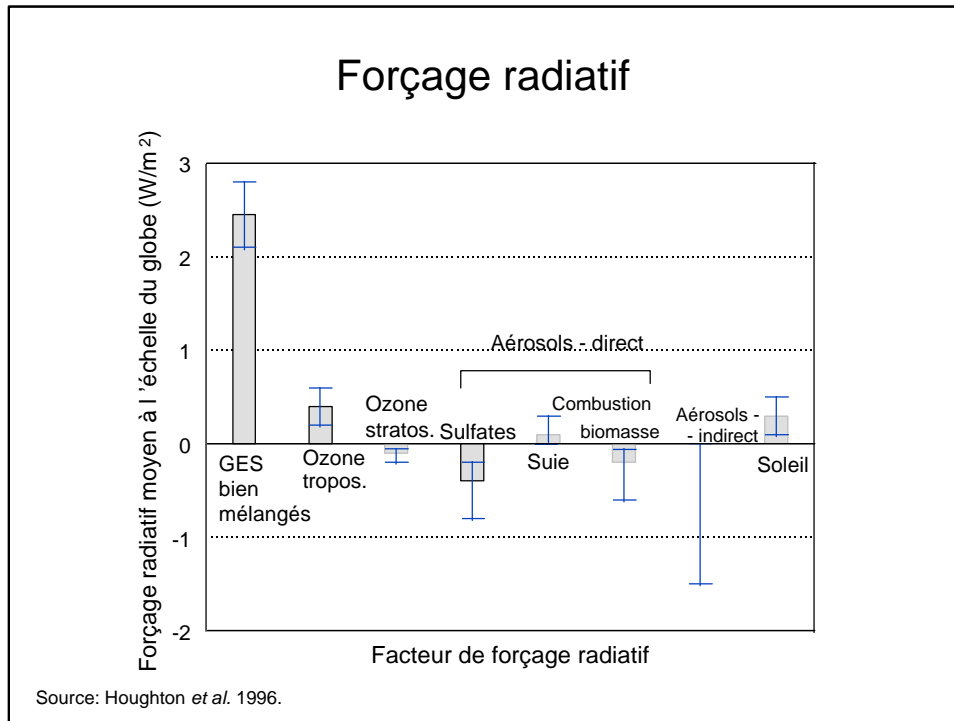
- la quantité de gaz rejetée dans l'atmosphère chaque année;
- la durée de vie de chaque gaz dans l'atmosphère;
- l'incidence indirecte de chacun des gaz sur la composition chimique de l'atmosphère.

Tendances des concentrations de N₂O de 1700 à aujourd'hui



Les concentrations d'hémioxyde d'azote (N₂O) pendant la période pré-industrielle des 10 000 dernières années ont varié autour d'une valeur moyenne de 275 à 280 ppmv.

Les concentrations sont montées à 15% au-dessus de ce niveau dans les deux derniers siècles.



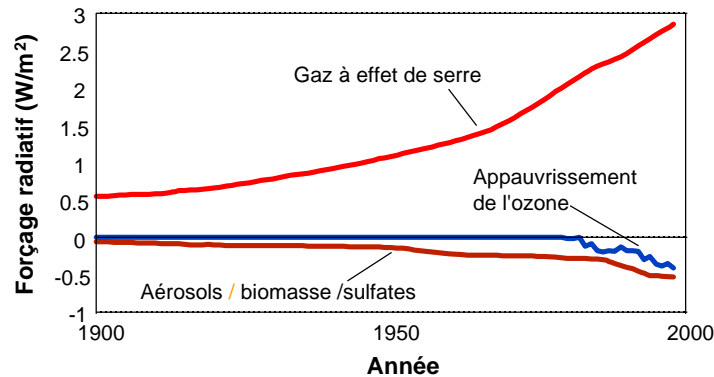
Ce diagramme fournit les meilleures estimations en ce qui a trait aux changements actuels dans le flux net d'énergie de rayonnement dans la basse atmosphère attribuable aux changements dans les concentrations de divers gaz à effet de serre et aérosols imputables à l'activité humaine. Sont incluses, à titre de comparaison, les meilleures estimations en termes de changements naturels dus à l'intensité accrue du rayonnement solaire.

Les barres d'erreurs indiquent le degré de confiance dans les estimations. Les changements dans les gaz à effet de serre bien mélangés ont eu une plus grande incidence sur les flux d'énergie et, par conséquent, sur le climat. Ces changements ont également été estimés avec un degré élevé de confiance.

Il est possible que les effets de l'accroissement du forçage solaire et de l'ozone troposphérique ait augmenté d'environ 25 % ceux des gaz à effet de serre bien mélangés, bien que l'ampleur de ces effets demeure incertaine.

Les aérosols entraînent en général des effets de refroidissement directs qui peuvent masquer jusqu'à 30 % ceux des gaz à effet de serre bien mélangés, bien qu'ils puissent varier d'une région et d'un type d'aérosols à l'autre.

Tendances dans le forçage radiatif lié à des causes humaines



Source: Adapté de Shine *et al.*, 1990; Schimel *et al.*, 1995; Hansen *et al.*, 1997.

L'incidence de l'activité humaine sur le système climatique varie selon le temps, l'espace et le type de forçage.

On a constaté, au cours des cent dernières années, une augmentation constante des effets radiatifs des variations des concentrations des gaz à effet de serre bien mélangés sur l'énergie du rayonnement nette qui pénètre dans la basse atmosphère et donc sur le système climatique.

En comparaison, l'effet de refroidissement des concentrations accrues des aérosols de sulfate et de ceux produits par la combustion de la biomasse qui a pu masquer l'incidence sur le climat de l'augmentation des gaz à effet de serre, a pris de l'ampleur très rapidement dans les régions industrielles au milieu du siècle, puis s'est stabilisé quelque peu en raison de la mise en place de mesures de lutte contre la pollution atmosphérique. Dans les récentes décennies, les émissions se sont accrues de façon significative en Asie du Sud-Est et dans d'autres régions industrialisées.

On croit que l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique entraîne un effet de refroidissement planétaire depuis 1980.

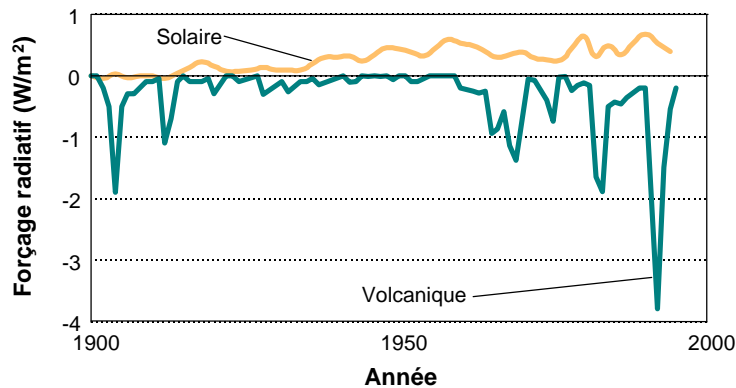
Source: Adapted from:

Shine, K.P., R.G. Derwent, D.J. Weubbles and J.J. Morcrette. 1990. Radiative Forcing of Climate. In *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. J.T. Houghton, G.J. Jenkins and J. J. Ephraums, eds. Cambridge University Press, Cambridge;

Schimel, D.S. 1995. Terrestrial and biogeochemical cycles: global estimates with remote sensing. *Remote Sensing of the Environment* 51(1): 49-56;

Hansen, J.M., M. Sat, R. Ruedy et al. 1997. Forcing and chaos in interannual to decadal climate change. *Journal of Geophysical Research* 102(D22):25,679-25,720.

Tendances dans le forçage radiatif lié à des causes naturelles



Source: Adapté de Lean *et al.*, 1995; Schimel *et al.*, 1995; Hofmann *et al.*, 1998.

Les deux principales causes naturelles du changement et des variations du climat qui se sont produits dans les cent dernières années sont attribuables aux variations de l'énergie solaire et aux émissions d'aérosols de sulfate dans la stratosphère du fait des éruptions volcaniques.

Les effets des variations de l'énergie solaire sur le climat semblent s'être accrus au cours du dernier siècle, en plus d'avoir également considérablement varié.

Les effets des éruptions volcaniques sont de courte durée (jusqu'à 5 ans après l'événement), mais peuvent entraîner des épisodes de refroidissement significatif à l'échelle planétaire.

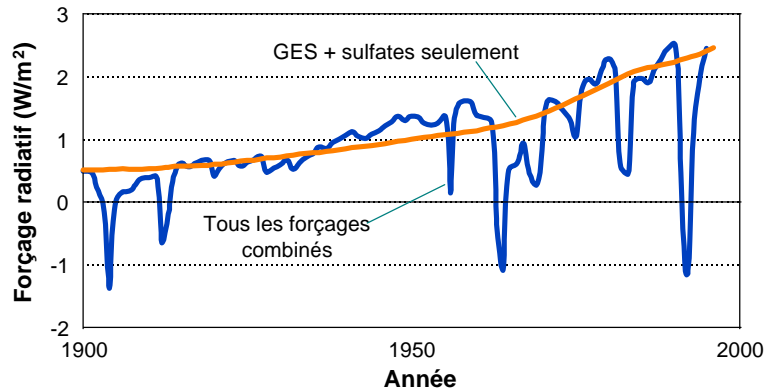
Source: Adapted from:

Lean, J., J. Beer & R. Bradley. 1995. Reconstruction of solar irradiance since 1610: implications for climate change. *Geophysical Research Letters* 22: 3195-3198;

Schimel, D.S. 1995. Terrestrial and biogeochemical cycles: global estimates with remote sensing. *Remote Sensing of the Environment* 51(1): 49-56;

Hofmann et al. 1998. An analysis of 25 years of balloonborne aerosol data in search of a signature of the subsonic commercial aircraft fleet. *Geophysical Research Letters* 25:2433-2436.

Tendances comparatives du forçage radiatif (toutes les causes VS GES + Aérosols)



Lorsqu'on fait la somme de toutes les estimations des effets du rayonnement dus à des causes diverses d'origine naturelle et humaine, on constate que les effets nets sont en moyenne très comparables à ceux liés à l'augmentation des gaz à effet de serre et des aérosols de sulfate attribuables à l'activité humaine seulement.

Source: Adapted from:

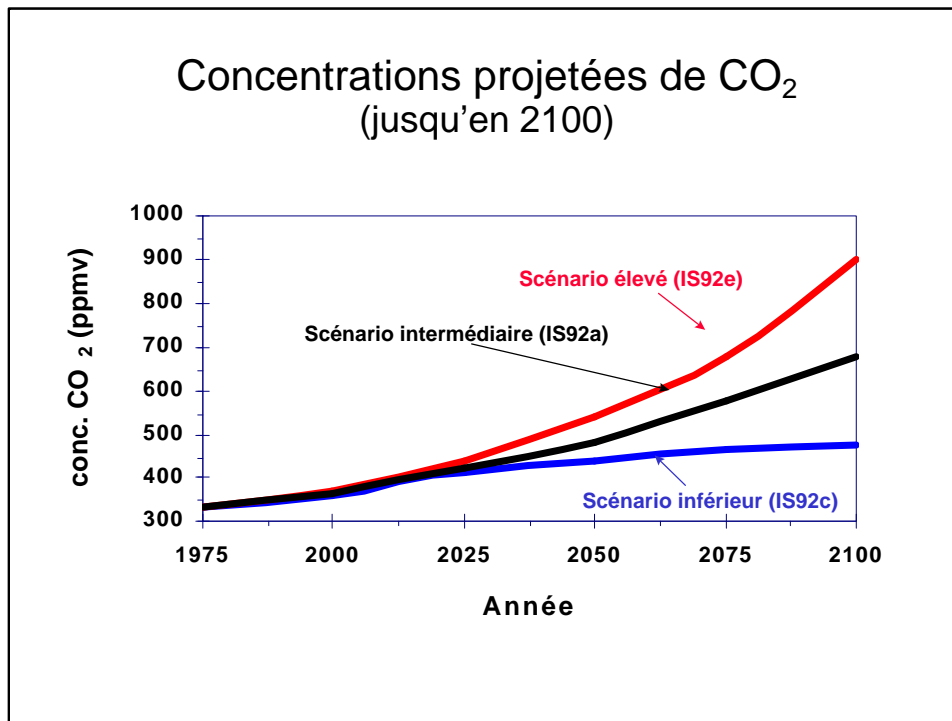
Shine, K.P., R.G. Derwent, D.J. Weubbles and J.J. Morcrette. 1990. Radiative Forcing of Climate. In *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. J.T. Houghton, G.J. Jenkins and J. J. Ephraums, eds. Cambridge University Press, Cambridge;

Schimel, D.S. 1995. Terrestrial and biogeochemical cycles: global estimates with remote sensing. *Remote Sensing of the Environment* 51(1): 49-56;

Hansen, J.M., M. Sat, R. Ruedy et al. 1997. Forcing and chaos in interannual to decadal climate change. *Journal of Geophysical Research* 102(D22):25,679-25,720;

Lean, J., J. Beer & R. Bradley. 1995. Reconstruction of solar irradiance since 1610: implications for climate change. *Geophysical Research Letters* 22: 3195-3198.

Hofmann et al. 1998. An analysis of 25 years of balloonborne aerosol data in search of a signature of the subsonic commercial aircraft fleet. *Geophysical Research Letters* 25:2433-2436.



Le GIEC a élaboré divers scénarios plausibles pour ce qui est des émissions dues à la combustion de combustibles fossiles et, donc, pour les futures concentrations atmosphériques de CO₂.

Le scénario le plus élevé (IS92e) présume une forte croissance économique et une utilisation accrue du charbon à l'échelle mondiale. Ce scénario suggère que les concentrations peuvent atteindre 950 ppmv d'ici 2100 (soit trois fois plus que les niveaux pré-industriels).

Le scénario le plus bas (IS92c) présume une croissance très faible de la population mondiale et une utilisation à plus grande échelle des énergies renouvelables. Ce scénario projette que d'ici 2100 les concentrations s'élèveront à environ 500 ppmv (environ 75 % de plus que les niveaux pré-industriels). La stabilisation des émissions mondiales par rapport aux niveaux de 1990 donnerait un scénario analogue.

Les estimations intermédiaires pour les émissions (IS92a), auxquelles on se réfère souvent comme le scénario de référence du GIEC, prévoient des concentrations de 700 ppmv d'ici 2100 (soit plus du double des niveaux pré-industriels).



La science du
changement climatique

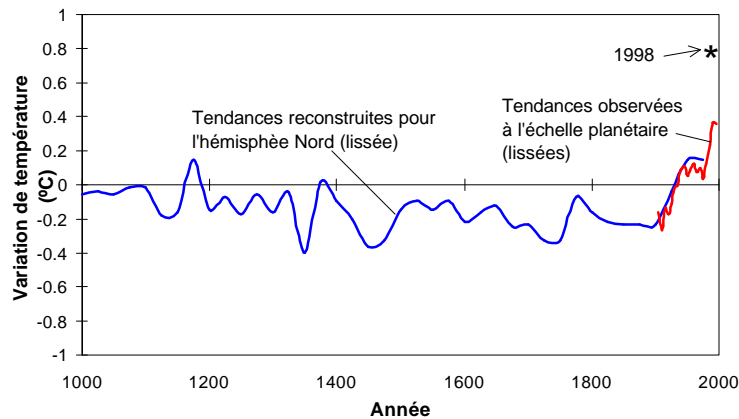
Volet 2: Tendances des températures

Mis à jour Avril 2001



Canada

Tendances des températures dans l'hémisphère Nord au cours du dernier millénaire



Source : Mann *et al.* 1999.

Les tendances des températures reconstruites par une équipe de scientifiques américains à partir des cernes de croissance des arbres et des carottes de glace suggèrent certaines anomalies dans la dernière partie du XX^e siècle, du moins dans le contexte du dernier millénaire.

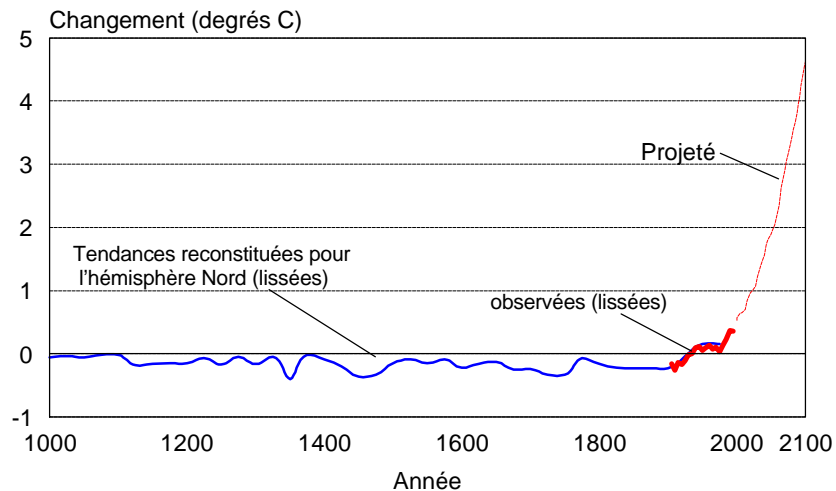
On constate que les années 80 et 90 ont été les décennies les plus chaudes et que 1998 a été l'année la plus chaude, avec des degrés de confiance modérément élevés.

Deux autres études indépendantes visant à reconstituer le climat planétaire au cours du dernier millénaire montrent des résultats similaires.

Ces études indiquent que la période de réchauffement médiéval, qui est souvent citée, a été un phénomène régional et non hémisphérique.

Source: Mann, M.E., R.S. Bradley & M.K. Hughes. 1999. Northern hemisphere temperatures during the past millennium: inferences, uncertainties and limitation. *Geophysical Research Letters* 26:759-762.

TENDANCES ET PROJECTIONS DES TEMPÉRATURES (années 1000 à 2100)



Source: Mann *et al.* 1999; NOAA; Boer *et al.*

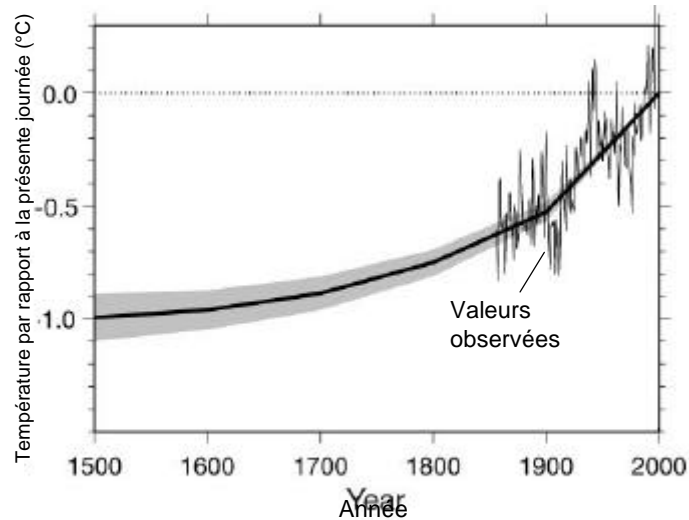
- Les données de Mann *et al.* sont la courbe lissée présentée dans leur document, Mann, M.E., R.S. Bradley & M.K. Hughes. 1999. Northern hemisphere temperatures during the past millennium: inferences, uncertainties and limitation. *Geophysical Research Letters* 26:759-762.

- Les projections sont celles du modèle couplé canadien du climat, MCGC1, utilisant une augmentation annuelle de 1 % des concentrations de CO₂.

Source: Boer, G. J., Flato, G. M., and Ramsden, D.2000. A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: projected climate to the twenty-first century. *Climate Dynamics* 16(6): 427-450.

- Les résultats suggèrent que le changement projeté des températures pour le prochain siècle sera d'un ordre de grandeur plus élevé que la variabilité naturelle au cours du dernier millénaire.

Changement de température de surface au sol dans le globe, 1500-2000



Source: Huang, Pollack, Shen. 2000.

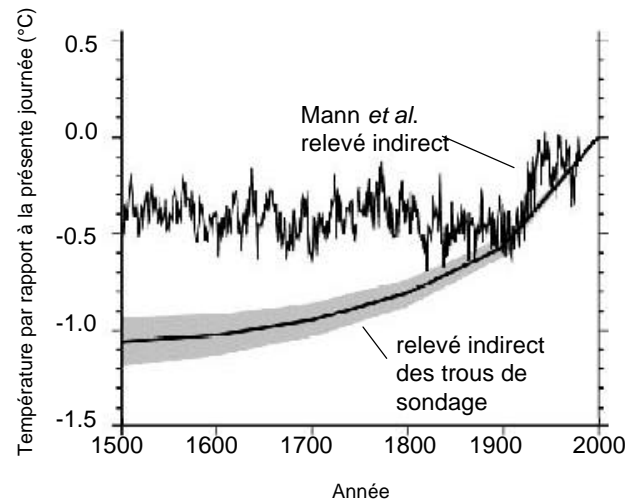
Les chercheurs ont utilisé plus de 600 relevés de trous de sondage recueillis de tous les continents, sauf l'Antarctique, pour reconstituer les tendances de température pour les zones terrestres du globe au cours des 500 dernières années.

Les relevés des trous de sondage ne détectent pas la variabilité climatique d'année en année, mais constituent un bon indicateur des tendances climatiques à long terme.

Les résultats des 150 dernières années concordent avec les données instrumentales et révèlent que les températures du XX^e siècle sont sans précédent dans la période de 500 ans.

Huang, S., H.N. Pollack, P.-Y. Shen. 2000. Temperature Trends over the past five centuries reconstructed from borehole temperatures. *Nature* 403: 756-758.

Reconstitution des températures de l'hémisphère Nord



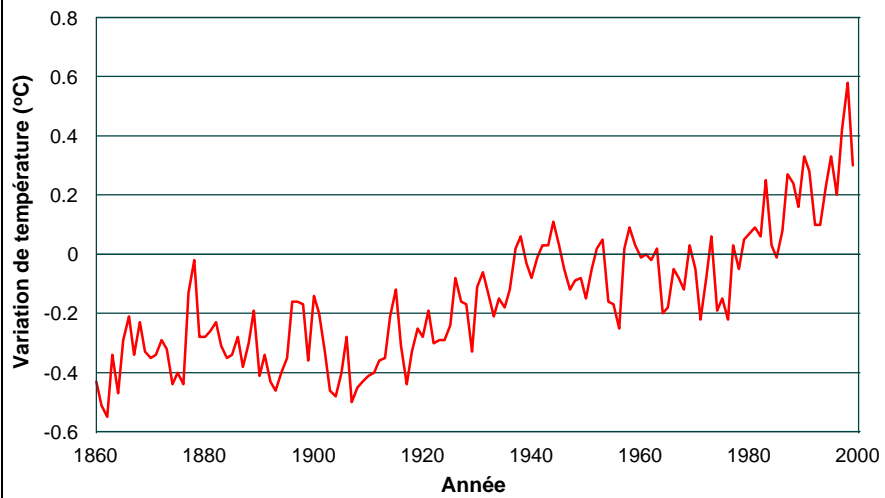
Source: Huang, Pollack, Shen. 2000.

Deux initiatives indépendantes de reconstitution du climat mondial des 500 dernières années montrent que les températures du XX^e siècle sont sans précédent.

Le relevé indirect des trous de sondage (température de surface au sol) donne à penser que le réchauffement net des 500 dernières années aurait atteint jusqu'à 1 °C, valeur supérieure à celle que montrent d'autres études comme le relevé indirect des carottes de glace de Man et de ses collaborateurs.

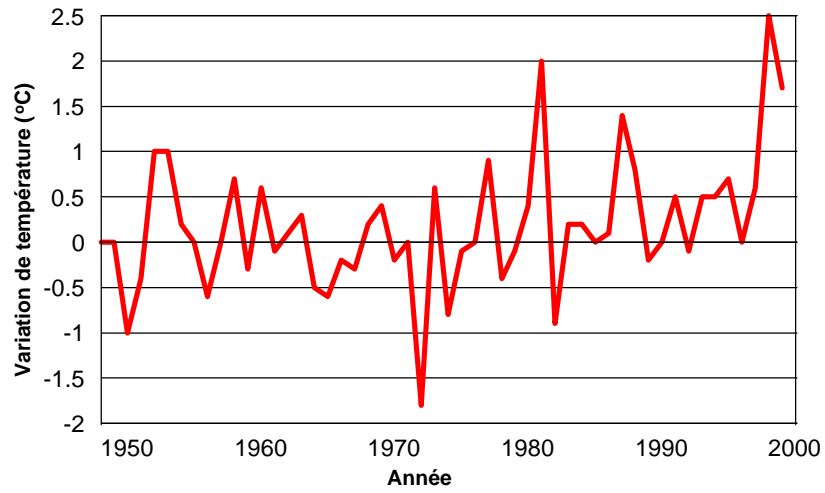
Huang, S., H.N. Pollack, P.-Y. Shen. 2000. Temperature Trends over the past five centuries reconstructed from borehole temperatures. *Nature* 403: 756-758.

Variation des températures à l'échelle planétaire 1860-1999



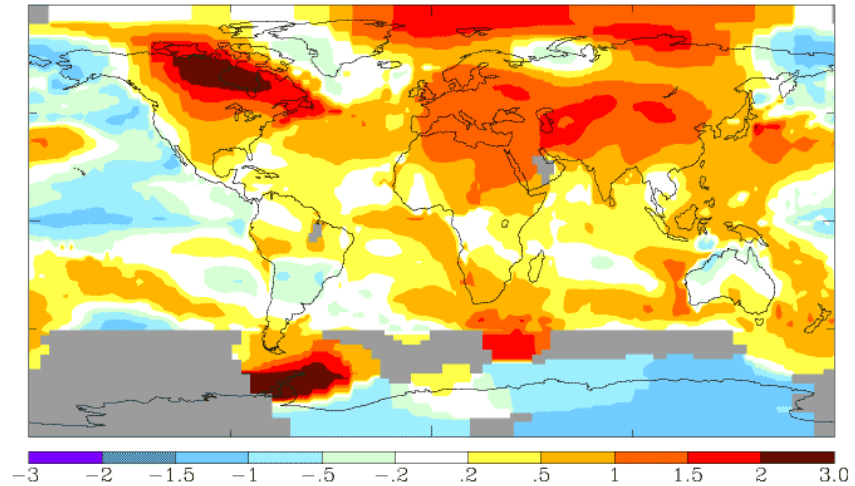
Comparativement à la température moyenne 1961-1990

Tendances de températures au Canada 1948-1999



Source: Service de l'Environnement atmosphérique, Environnement Canada

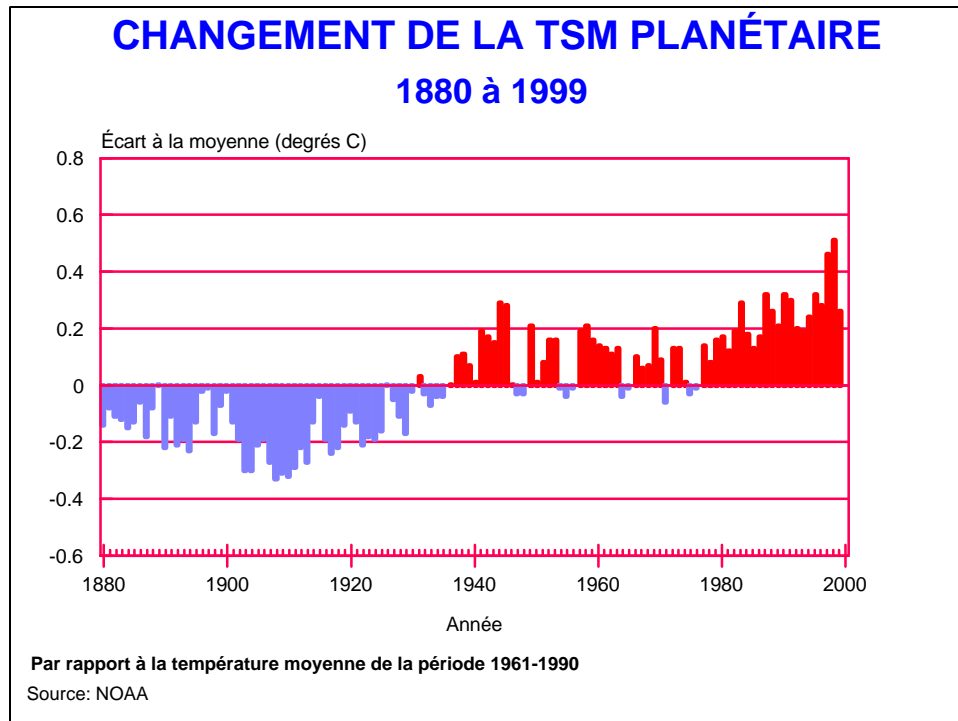
Anomalie de la température annuelle en 1999



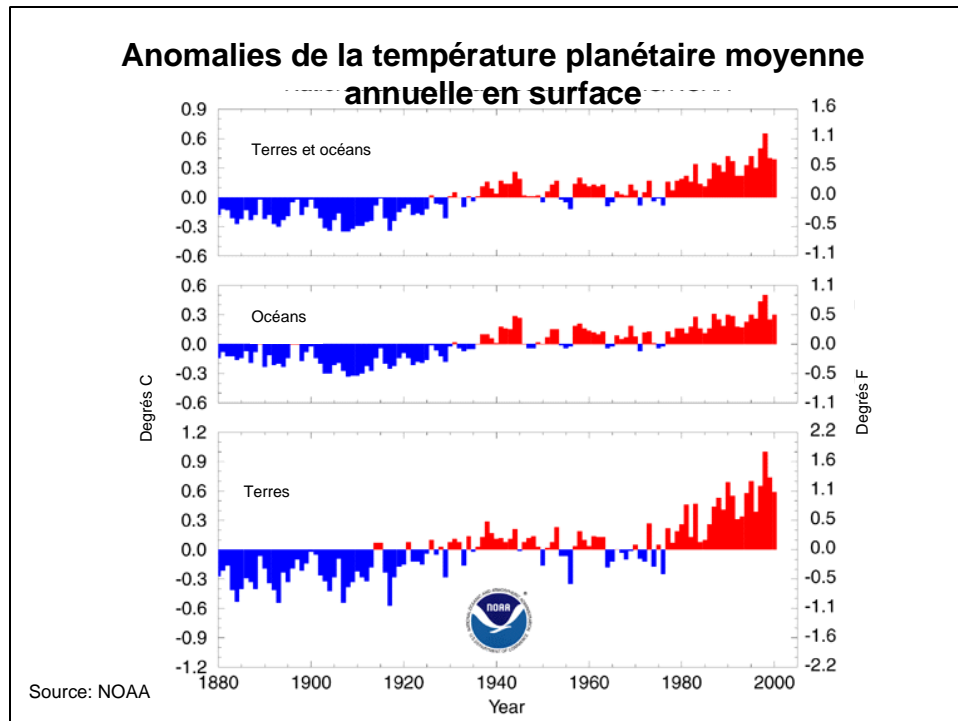
Source: NOAA.

Le Canada a connu le plus important réchauffement de toute la planète en 1999

De nouveau en 1999, le Canada a observé l'anomalie chaude la plus importante du monde. Cette situation confirme l'importance d'appuyer les recherches sur le climat au Canada.



- Source : <http://www.ncdc.noaa.gov/ol/climate/research/monitoring.html>
- La variabilité semble être une fonction composite des fluctuations interannuelles (souvent liées au comportement de l'ENSO), de la variabilité pluridécennale et d'une tendance résiduelle à plus long terme.
- Les températures observées pendant l'épisode ENSO de 1997-1998 semblent être sans précédent dans les annales.

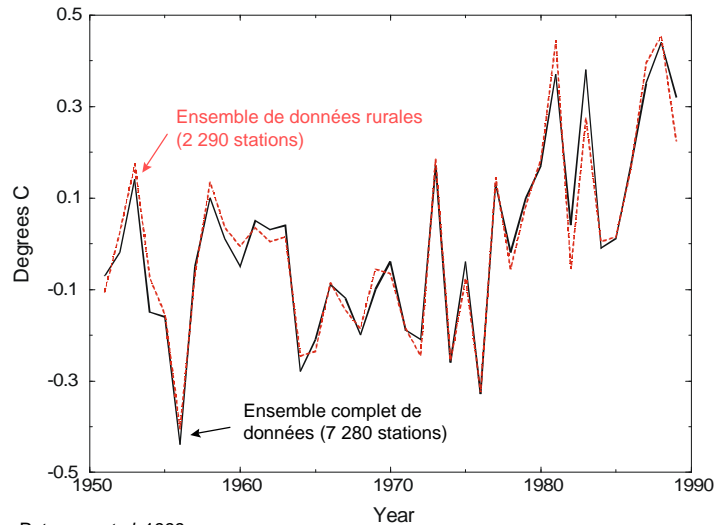


•Source :

<http://www.ncdc.noaa.gov/ol/climate/research/2000/ann/ann.html>

• Comme on peut s'y attendre, la variabilité des températures sur les terres montre un parallèle avec celle constatée sur les océans, mais elle est plus prononcée.

Influence de l'urbanisation sur l'analyse des tendances des températures mondiales

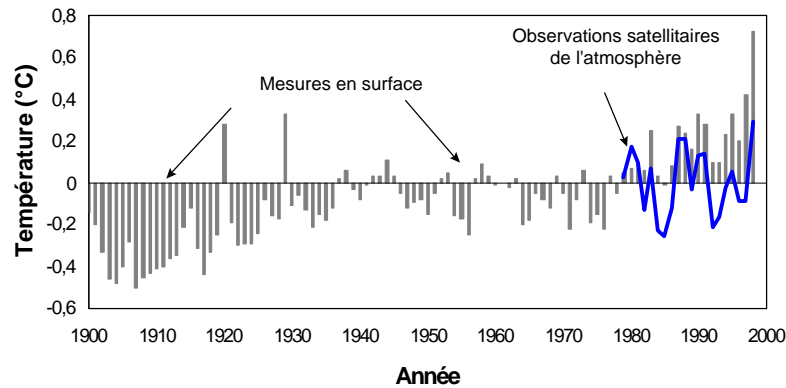


La distinction qui est faite entre les séries chronologiques de données sur les températures mondiales enregistrées en milieu rural (dans 2 200 stations rurales) et celles des stations *in situ* (ensemble complet de données de 7 280 stations) montre très peu de différences dans les tendances.

Cela confirme que le réchauffement urbain (effet de l'îlot de chaleur) n'a aucune incidence significative sur l'ensemble de données mondiales utilisées pour estimer les tendances des températures à l'échelle du globe.

Source: Peterson, L. C., Haug, G. H., Hughen, K. A., and Rohl, U. 2000. **Rapid changes in the hydrologic cycle of the tropical Atlantic during the last glacial.** *Science* 290(5498): 1947-1951.

Variation des températures à l'échelle planétaire



Source: NOAA/NASA.

De récentes études sur les tendances des températures dans la basse atmosphère s'appuyant sur des données satellitaires suggèrent peu de changement des températures depuis 1979.

Cela peut indiquer que le réchauffement des températures dans la basse atmosphère n'est pas aussi rapide qu'en surface.

Cependant, comme le suggère la comparaison entre les tendances des variables dans les données de surface depuis 1900, les données satellitaires dont nous disposons sont trop récentes pour pouvoir être utiles dans l'analyse de tendances fiables.

Certains scientifiques mettent aussi en garde contre les données satellitaires, qui sont indirectement compilées à partir des mesures effectuées par un certain nombre de systèmes satellitaires, puisqu'elles peuvent comporter des erreurs significatives.



La science du changement climatique

Volet 3: Les résultats des modèles

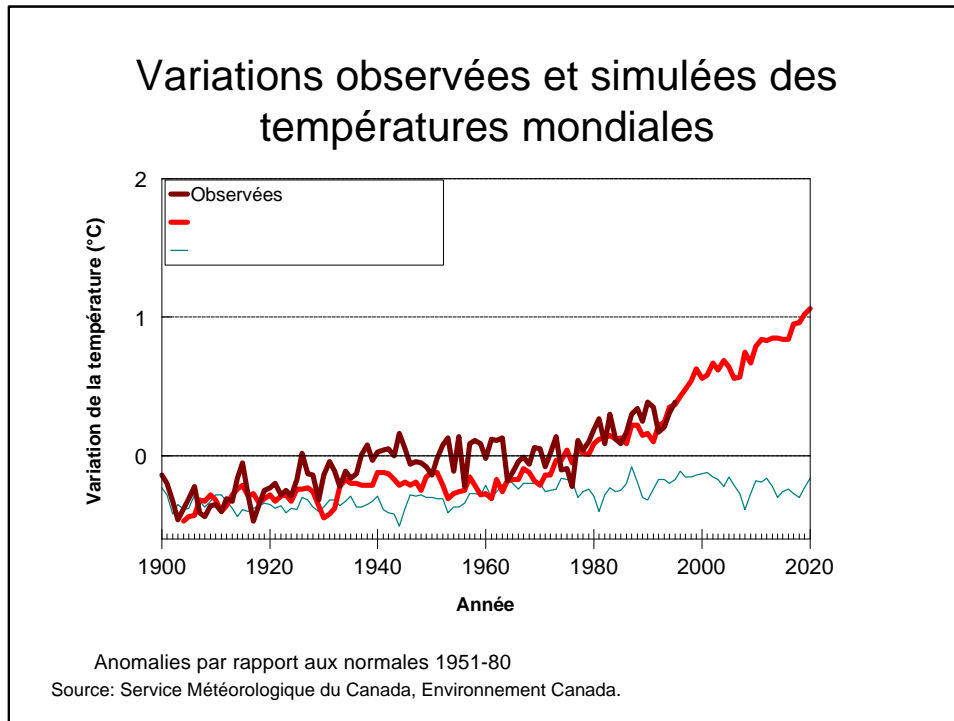
Mis à jour Avril 2001



Canada

Projections des modèles

Résultats récents issus du modèle
couplé de circulation générale
(MCCG1) du Centre canadien de la
modélisation et de l'analyse
climatique



Les simulations des climats antérieurs avec le modèle couplé canadien de circulation générale, qui fait intervenir des changements dans les concentrations de gaz à effet de serre et des aérosols, donnent une estimation assez exacte des tendances moyennes des températures mondiales en surface.

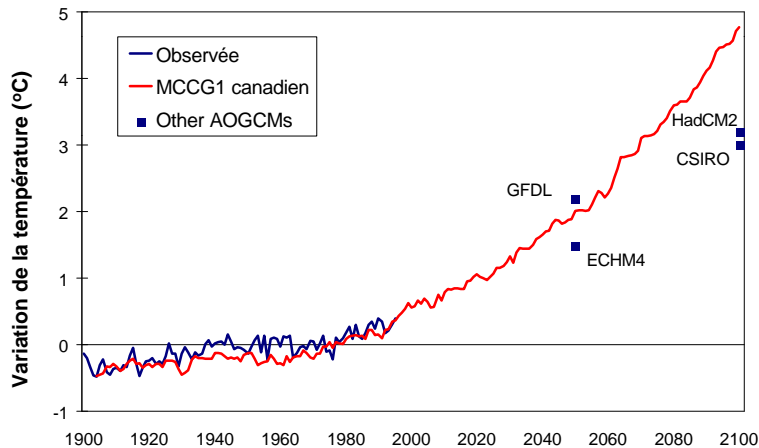
Les différences significatives à court terme peuvent être liées aux variations du rayonnement solaire (dont le modèle ne tenait pas compte) ou aux fluctuations à long terme des conditions océaniques.

Une passe témoin, sans changements aux gaz à effet de serre ni aux aérosols, ne montre aucune tendance significative à long terme.

On obtient des résultats analogues avec d'autres modèles couplés du climat.

Source: Meteorological Service of Canada, Environment Canada.

Variations observées et simulées des températures mondiales



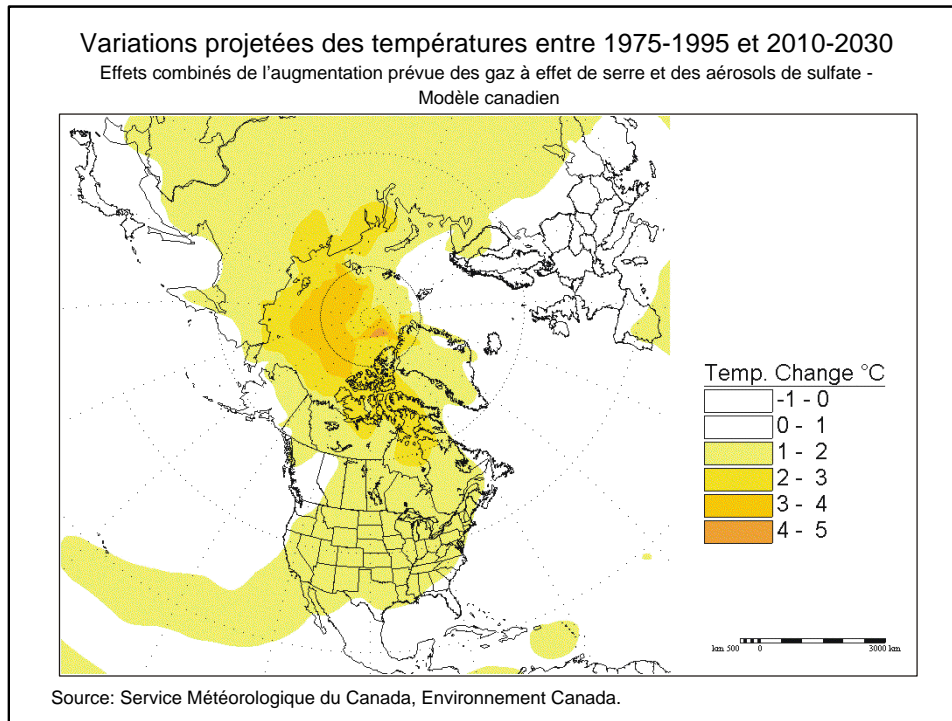
Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.

Les projections du modèle couplé canadien pour ce qui est des variations des températures moyennes mondiales en surface jusqu'à 2100, qui tiennent compte des changements relatifs aux gaz à effet de serre et aux aérosols comme dans le cas du scénario IS92a, suggèrent une hausse d'environ 4 °C au cours du prochain siècle.

Cette projection est plus élevée que celles de la plupart des autres modèles couplés du climat qui utilisent des scénarios similaires.

Cependant, la communauté internationale considère que le modèle canadien est l'un des plus crédibles. D'où l'importance accordée à ses projections.

Source: Meteorological Service of Canada, Environment Canada.



À l'instar de tous les MCCG, le MCCGC prévoit un plus grand réchauffement des températures dans les terres qu'au-dessus des océans, et aux latitudes élevées plutôt qu'aux basses latitudes.

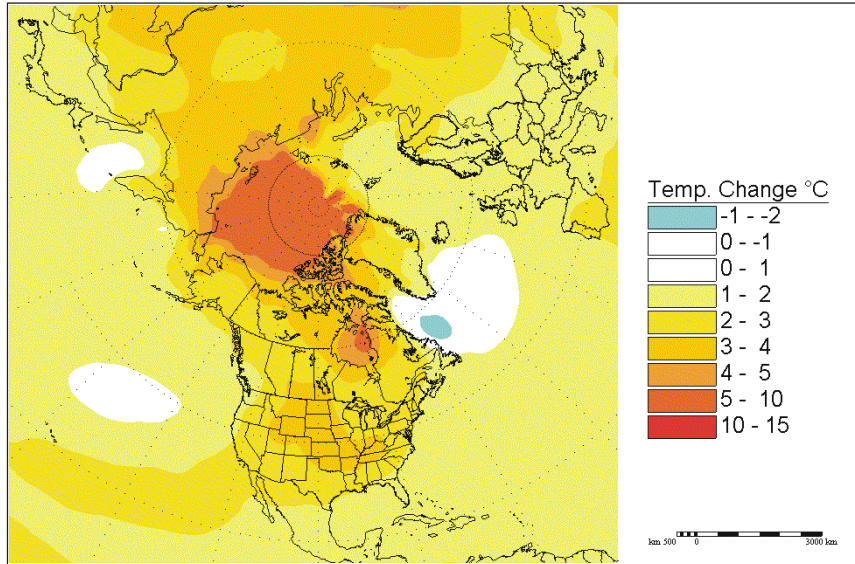
La hausse moyenne est de 1 à 2 °C d'ici environ 2020 dans la majeure partie des régions de l'intérieur de l'hémisphère Nord et de 2 à 4 °C au-dessus des eaux recouvertes de glace de l'Arctique.

Sur le continent européen, la hausse sera atténuée par une faible advection sur la région des chauds courants océaniques des tropiques.

Les rétroactions de la neige et de la glace sont les principales raisons du réchauffement polaire.

Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.

Variations projetées des températures entre 1975-1995 et 2040-2060
Effets combinés de l'augmentation prévue des gaz à effet de serre et des aérosols de sulfate -
Modèle canadien



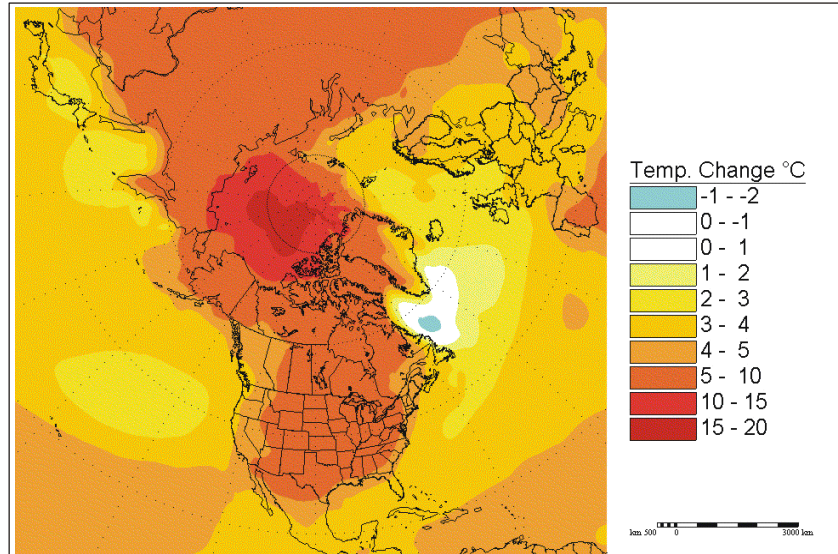
Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.

D'ici 2050, le MCCG1 prévoit un réchauffement supérieur à 3 °C dans le centre de l'Amérique du Nord et l'Asie et de plus de 5 °C dans les eaux recouvertes de glace de l'Arctique.

Une circulation plus lente des océans réduirait l'apport d'eau chaude des tropiques vers le nord et entraînerait une zone de refroidissement au large du Labrador.

Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.

Variations projetées des températures entre 1975-1995 et 2080-2100
Effets combinés de l'augmentation prévue des gaz à effet de serre et des aérosols de sulfate -
Modèle canadien



Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.

D'ici 2090, on prévoit une hausse des températures de plus de 5 °C dans la plupart des régions continentales de l'hémisphère Nord et entre 10 et 20 °C dans l'Arctique.

La zone de refroidissement au large du Labrador est toujours en évidence.

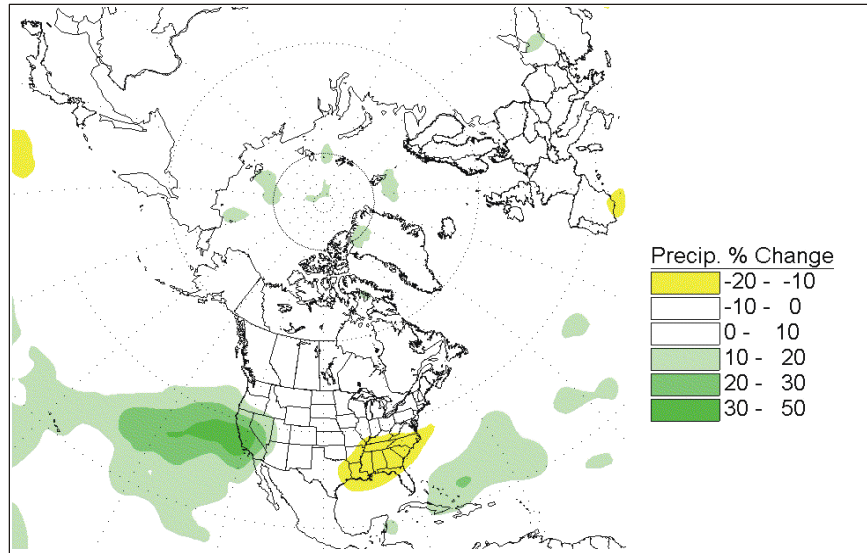
En Europe, le réchauffement continuera d'être atténué par l'apport réduit d'eaux chaudes provenant du Gulf Stream.

L'océan Arctique est complètement libre de glace en été.

Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.

Variations projetées des précipitations entre 1975-1995 et 2010-2030

Effets combinés de l'augmentation prévue des gaz à effet de serre et des aérosols de sulfate -
Modèle canadien



Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.

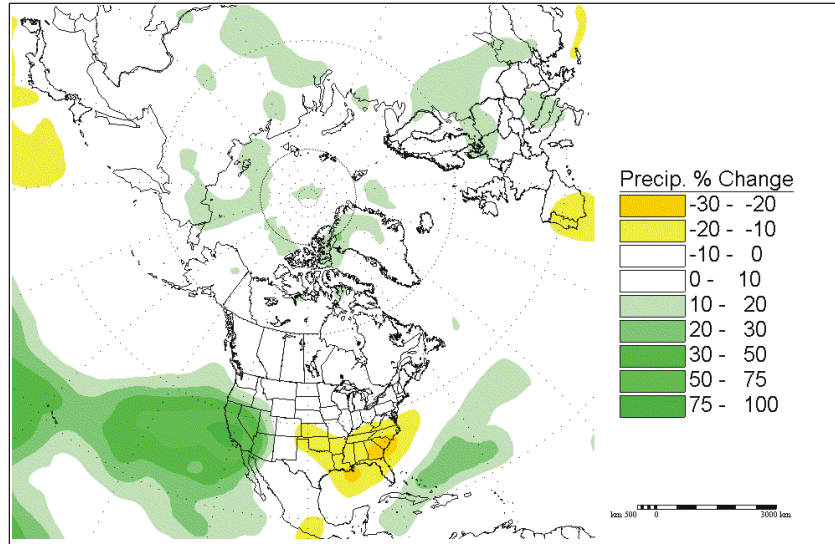
D'ici 2020, on prévoit très peu de changements des précipitations sur la majeure partie du continent de l'hémisphère Nord.

Les principales exceptions sont les régions du sud-ouest (qui seront beaucoup plus humides) et du sud-est (où le temps sera plus sec) des États-Unis.

Le réchauffement simultané entraînera davantage d'évaporation et donc des conditions plus sèches dans la plupart des régions de l'intérieur.

Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.

Variations projetées des précipitations entre 1975-1995 et 2040-2060
Effets combinés de l'augmentation prévue des gaz à effet de serre et des aérosols de sulfate -
Modèle canadien

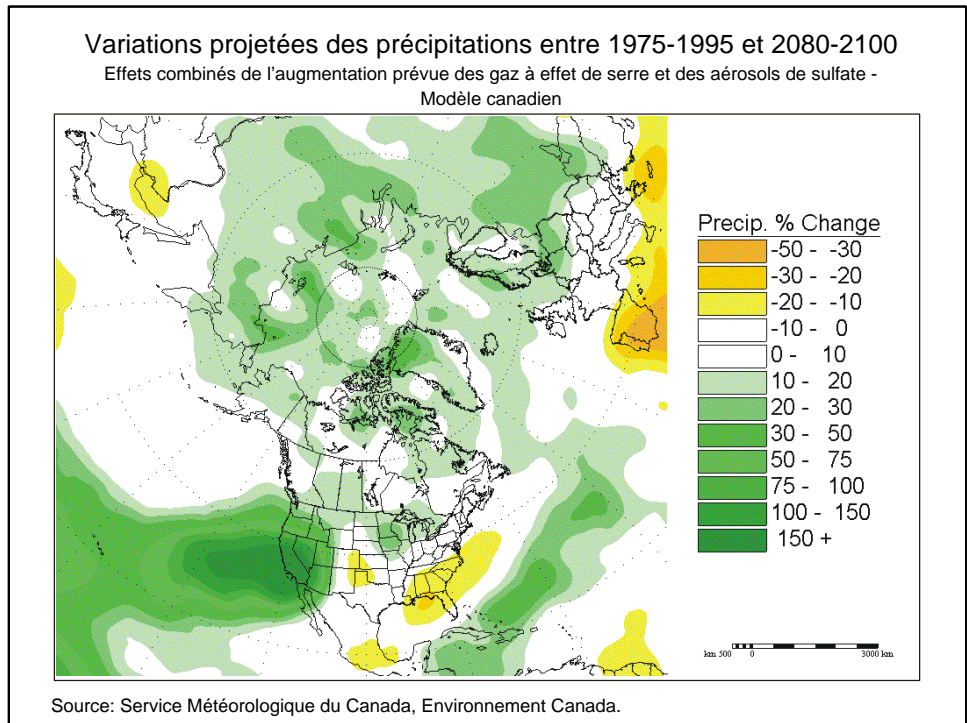


Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.

D'ici 2050, les changements dans les précipitations aux latitudes moyennes et élevées demeurent modestes.

Les changements s'intensifieront dans le sud des États-Unis et le sud de l'Europe deviendra plus sec.

Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.



D'ici 2090, les précipitations augmenteront sur la plupart des régions de l'intérieur, à l'exception du sud-est des États-Unis et du sud de l'Europe.

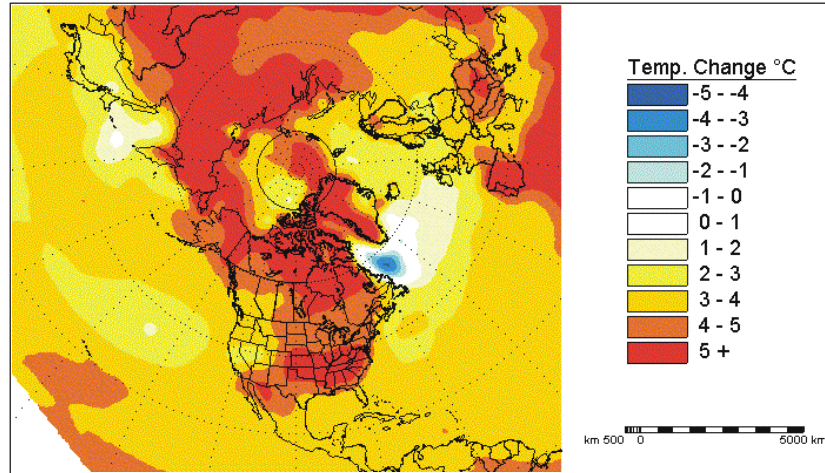
On prévoit toujours peu de changements pour le centre de l'Amérique du Nord.

Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.

Projections des températures et
des précipitations saisonnières
pour 2090

Projections des variations de températures en été entre
1975-1995 et 2080-2100

Effets combinés de l'augmentation prévue des gaz à effet de serre et des aérosols de sulfate - Modèle canadien



Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.

Aux alentours de 2090, la hausse des températures estivales dans le centre de l'océan Arctique est de seulement 1 à 2 °C; elle est donc nettement inférieure à la moyenne annuelle.

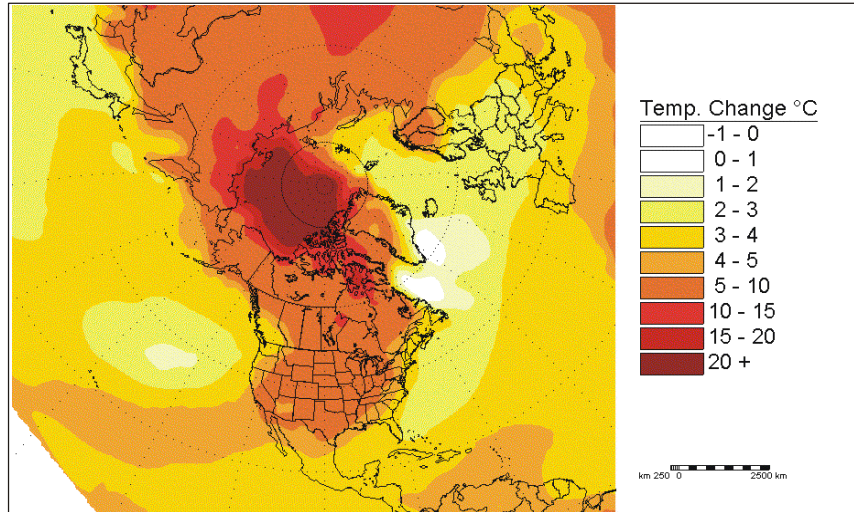
Le refroidissement de l'océan au large du Labrador est plus intense en été.

Le réchauffement de la région sub-arctique, du centre du Canada et du sud-est des États-Unis est plus élevé qu'en hiver, mais quelque peu atténué le long de la partie ouest de l'Amérique du Nord.

Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.

Projections des variations de températures em hiver entre
1975-1995 et 2080-2100

Effets combinés de l'augmentation prévue des gaz à effet de serre et des aérosols de sulfate - Modèle canadien



Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.

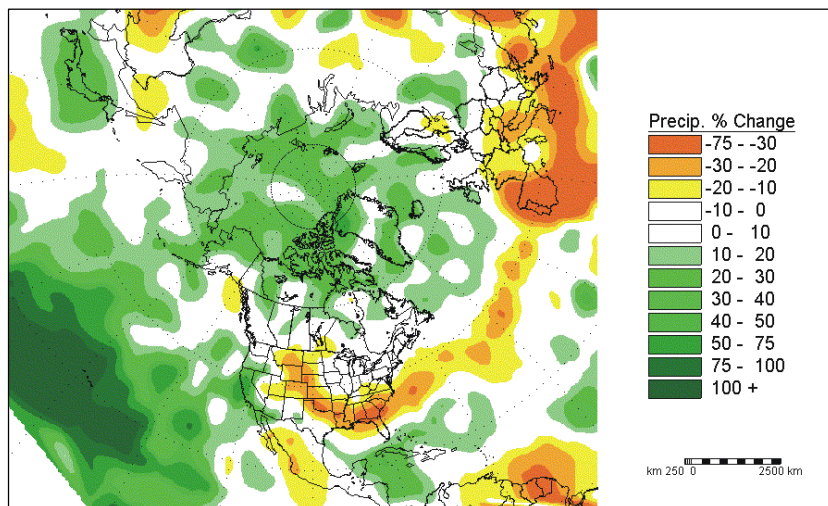
Les changements des régimes des températures hivernales sont comparables aux projections annuelles, mais sont plus intenses dans les eaux couvertes de glace et dans le centre de l'Asie.

Le refroidissement de l'océan au large du Labrador est moins intense qu'en été.

Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.

Projections des variations de précipitations en été entre 1975-1995 et 2080-2100

Effets combinés de l'augmentation prévue des gaz à effet de serre et des aérosols de sulfate - Modèle canadien



Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.

Aux alentours de 2090, l'augmentation des précipitations est moins marquée en été qu'en hiver sur l'ouest des États-Unis et le centre du Canada.

Dans la majeure partie des régions des Prairies canadiennes, du centre et du sud-est des États-Unis, les précipitations sont moins abondantes.

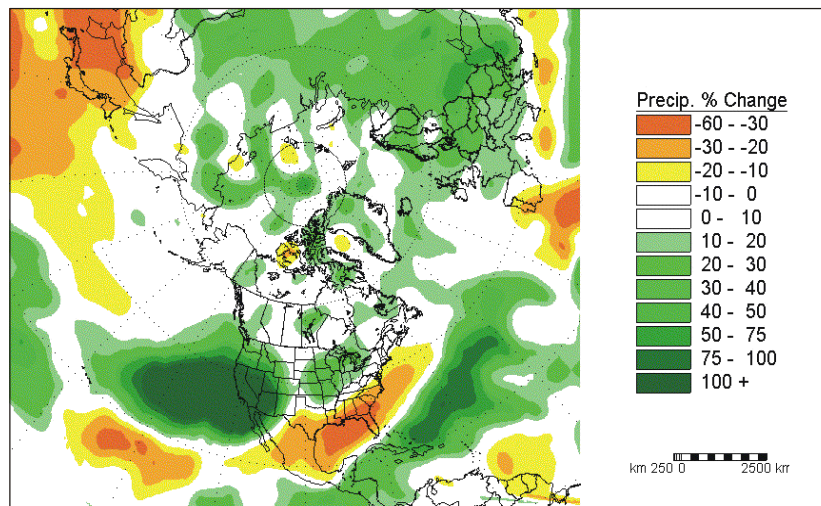
Il y aura davantage de précipitations dans l'Arctique par rapport à l'hiver.

Le sud de l'Europe connaîtra une baisse considérable des précipitations en été.

Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.

Projections des variations de précipitations en hiver entre
1975-1995 et 2080-2100

Effets combinés de l'augmentation prévue des gaz à effet de serre et des aérosols de sulfate - Modèle canadien



Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.

Dans l'ouest des États-Unis, les précipitations seront beaucoup plus abondantes en hiver qu'en été.

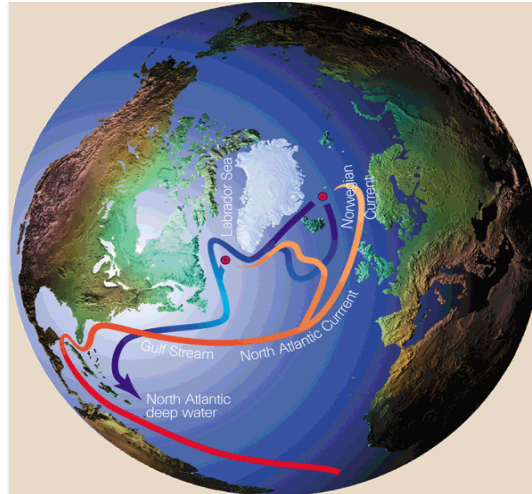
On prévoit une intensification modérée des précipitations par rapport à l'été dans le centre des États-Unis, le bassin des Grands Lacs et dans la plupart des régions d'Europe et d'Asie.

Il y aura peu de changements dans les précipitations en hiver dans les régions sub-arctiques du Canada.

Source: Service Météorologique du Canada, Environnement Canada.

Le système de la circulation thermohaline

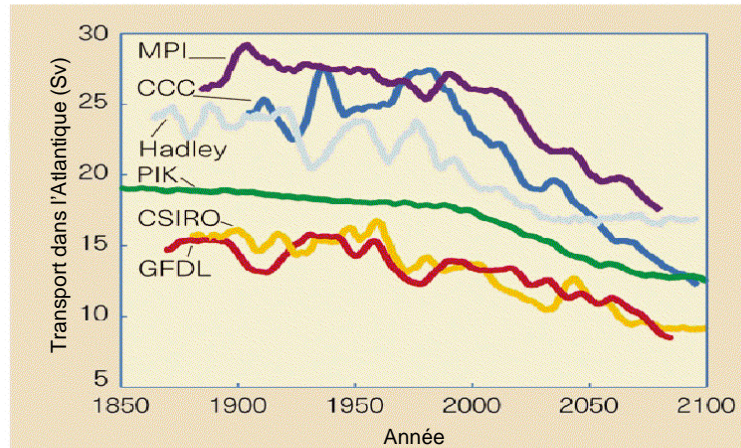
Le système de la circulation thermohaline



Source : Rahmstorf, 1999.

- Source: S. Rahmstorf. 1999. Shifting seas in the greenhouse? Nature 399: 523-524.

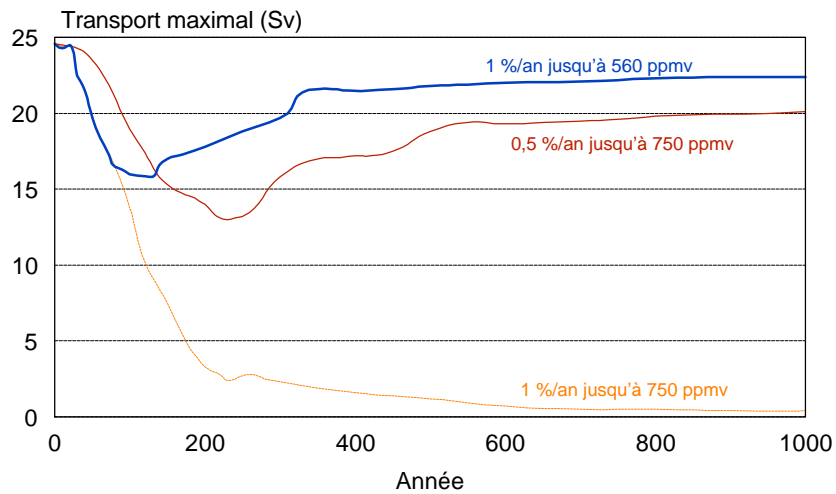
Tendances projetées du transport d'eau dans l'Atlantique



Source : Rahmstorf 1999.

- Source: S. Rahmstorf. 1999. Shifting seas in the greenhouse? Nature 399: 523-524.
- En valeur absolue, l'importance du transport d'eau dans l'Atlantique varie considérablement d'un modèle à l'autre, ce qui témoigne à quel point il reste difficile de modéliser avec précision la circulation océanique.
- Cependant, tous les modèles montrent que la circulation devrait commencer à faiblir rapidement d'ici quelques dizaines d'années.
- Une étude effectuée par Woods *et al.* sur le même sujet suggère que ce déclin serait lié surtout à une interruption possible de la formation d'eau profonde dans la région du Labrador, et moins dans la région de la mer du Groenland.

Évolution du transport maximal dans l'Atlantique dans divers scénarios de changement climatique



- D'après la figure 5 d'un: A. Schmittner & T.F. Stocker. 1999. The Stability of the Thermohaline Circulation in Global Warming Experiments. J.Climate 12(4): 1117-1133.
- Les scénarios postulent que les concentrations atmosphériques de CO₂ augmentent aux vitesses indiquées jusqu'à un niveau seuil, puis se stabilisent.
- Les niveaux seuils sont atteints en environ 75 ans pour le scénario à 560 ppmv, environ 100 ans pour le scénario de croissance rapide à 750 ppmv, et environ 200 ans pour le scénario de croissance lente.
- Avec le scénario de croissance rapide, la circulation thermohaline devrait s'interrompre complètement et rester coupée jusqu'à la fin du millénaire.



La science du changement climatique

Volet 4 : Extreme Events

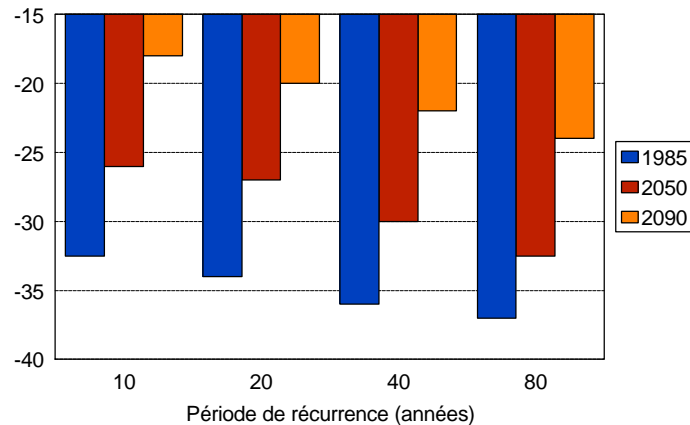
Mis à jour Avril 2001



Canada

Changement projeté des températures extrêmes

Extrêmes de froid



Source: Hengeveld 2000

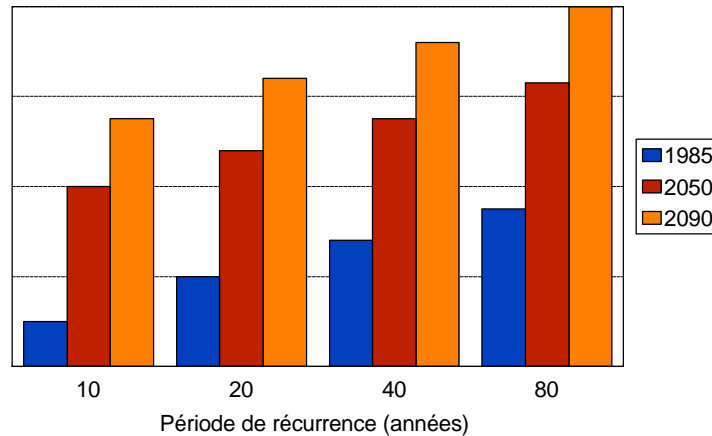
De petits changements dans les conditions moyennes du climat peuvent engendrer d'importants changements dans les extrêmes.

Les extrêmes de froid de tout le Canada (représentés par les températures minimales quotidiennes) devraient devenir moins rigoureux avec le temps. Vers les années 2050, par exemple, le MCCG1 projette que des extrêmes de froid qui surviennent maintenant une fois tous les dix ans se manifesteront sans doute moins d'une fois tous les 80 ans.

Source: Hengeveld, H. 2000. Projections du climat futur du Canada. Sommaire du changement climatique 00-01 Édition spéciale.

http://www.msc-smc.ec.gc.ca/apac/climate/ccsci_f.cfm

Changement projeté des températures extrêmes Extrêmes de chaleur



Source: Hengeveld 2000

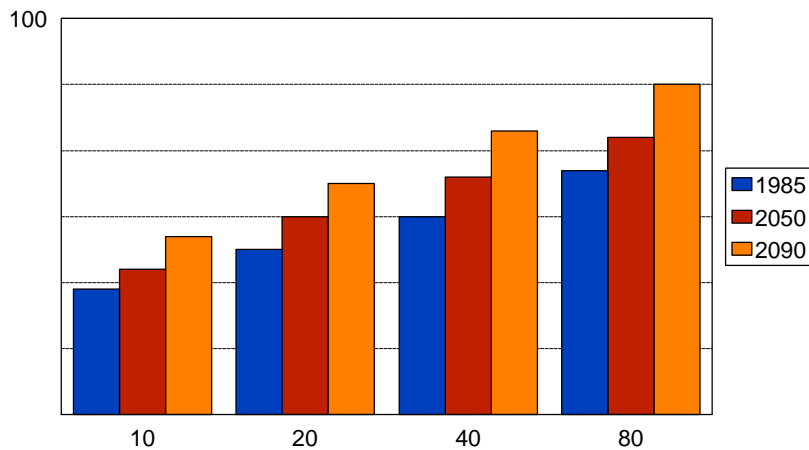
Projections du MCCG1 des changements qui surviendront dans l'ampleur des températures maximales quotidiennes extrêmes canadiennes moyennes qui pourraient se présenter en principe une fois tous les 10, 20, 40 ou 80 ans.

Ce tableau indique qu'une température maximale extrême dont la période de récurrence est aujourd'hui de 80 années devrait se présenter environ une fois tous les 10 ans d'ici à 2050. D'ici aux années 2090, l'ampleur de ces événements de fortes températures extrêmes devrait en principe s'accroître, en moyenne, de 4 à 5 °C.

Source: Hengeveld, H. 2000. Projections du climat futur du Canada. Sommaire du changement climatique 00-01 Édition spéciale.

http://www.msc-smc.ec.gc.ca/apac/climate/ccsci_f.cfm

Changement projeté des précipitations extrêmes (MCCG1)



Source: Hengeveld 2000

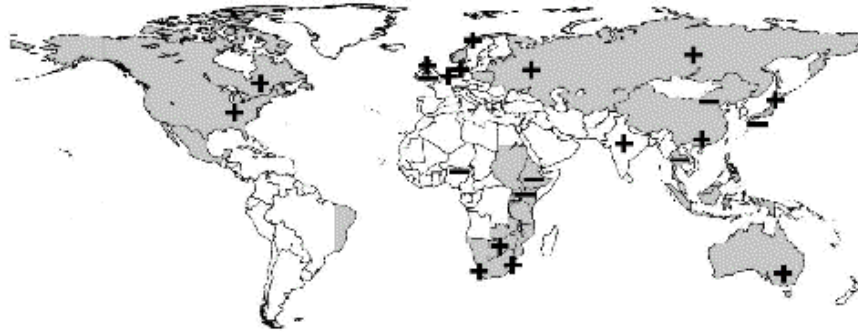
Les analyses des périodes de récurrence de précipitations extrêmes dans les simulations du CGCM1 donnent à penser que les pluies, en moyenne, deviendront plus intenses dans toutes les régions du monde, même si l'ampleur de ces changements reste incertaine.

En Amérique du Nord, le taux moyen des précipitations pour les extrêmes survenant une fois en vingt ans devrait, suivant les projections, augmenter de 10 mm/jour d'ici à 2050. Si l'on fait la moyenne pour le Canada, les extrêmes survenant une fois tous les 40 ans pourrait devenir une occurrence décennale d'ici aux années 2090.

Source: Hengeveld, H. 2000. Projections du climat futur du Canada. Sommaire du changement climatique 00-01 Édition spéciale.

http://www.msc-smc.ec.gc.ca/apac/climate/ccsci_f.cfm

Tendances des épisodes de fortes précipitations

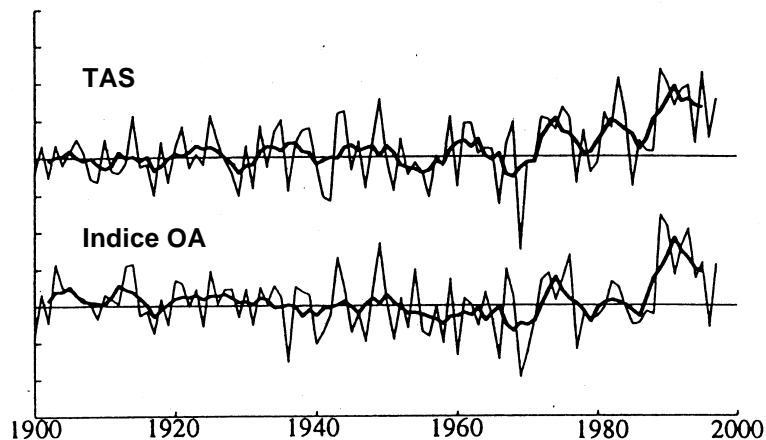


Source : Easterling *et al.* 2000.

Les signes (plus et moins) indiquent les régions où l'on a constaté des changements significatifs dans les dernières décennies. Dans l'est de l'Amérique du Nord, on a noté une tendance à l'augmentation du nombre de jours avec d'importants totaux des précipitations sur 24 heures.

Easterling, DR. *et al.* 2000. Observed Variability and Trends in Extreme Climate Events: A Brief Review. *BAMS* 81(3): 417-425.

Tendances normalisées de la température de l'HN et indice de l'oscillation arctique

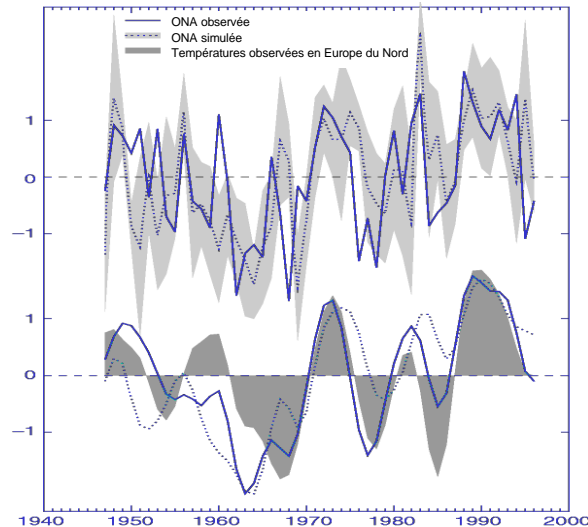


Source : Thompson et Wallace 1998

- L'indice OA est basé sur les changements de la principale composante motrice du champ de la pression moyenne mensuelle au niveau de la mer, de 20°N vers le pôle, entre novembre et avril.
- L'indice OA montre une forte variabilité interannuelle et une tendance nette à l'augmentation des valeurs au cours des dernières décennies.
- L'indice OA est bien corrélé avec la variabilité de la température de l'air à la surface (TAS) sur l'Eurasie.
- Ce décalage a contribué aux récentes tendances des températures de l'hémisphère, avec un intense réchauffement sur la Sibérie et le nord-ouest de l'Amérique du Nord, et un refroidissement sur le Pacifique Nord, l'Atlantique Nord et l'est de l'Arctique canadien.

Source: Thompson, D.W.J. and J.M. Wallace. 1998. The Arctic Oscillation signature in wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Research Letters* 25: 1297-1300.

Indice de l'oscillation nord-atlantique Hiver - 1947 à 1997

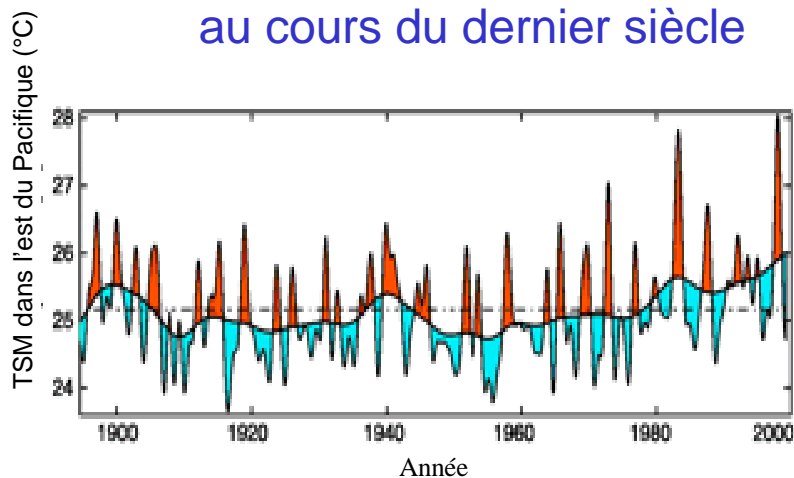


Source : Rodwell *et al.* 1999

- L'indice ONA est basé sur la différence de pression au niveau de la mer entre les Açores et l'Islande.
- Le graphique du haut compare les changements observés de l'indice ONA (trait continu) avec ceux simulés par un ensemble de six simulations effectuées avec un modèle de l'atmosphère planétaire du Royaume-Uni forcé par les températures de la surface de la mer observées et la couverture glaciaire (zone ombrée).
- Le graphique du bas montre dans quelle mesure la variabilité interdécennale de l'indice ONA, filtrée pour éliminer les variations de fréquence inférieure à 6,5 ans (trait continu), concorde généralement avec la variabilité observée de la température de l'Europe du Nord (zone grise).

Source: Rodwell, M. J., Rowell, D. P., and Folland, C. K. 1999. Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate. *Nature* **398**, 320-323.

Tendances des comportements d'El Niño - La Niña au cours du dernier siècle

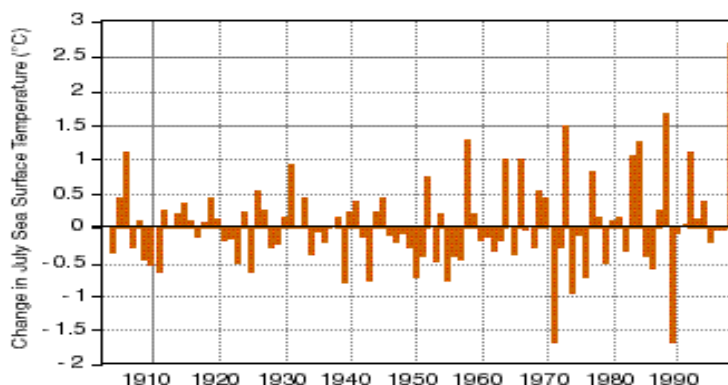


Source : Fedorov et Philander, 2000

- Le graphique montre la variabilité interannuelle des températures de la surface de la mer dans l'est du Pacifique équatorial entre 5S et 5N, et entre 80W et 120W, ajustée pour éliminer le cycle annuel et la variabilité de plus haute fréquence.
- Le trait continu épais représente la variabilité interdécennale sous-jacente, obtenue en appliquant aux données un filtre passe-bas.
- Les données montrent à la fois une variabilité interdécennale et une augmentation de l'indice dans les récentes décennies.

Source: Fedorov, A. V. and Philander, S. G. 2000. **Is El Niño changing?** Science 288(5473): 1997-2002.

FRÉQUENCE ET INTENSITÉ D'EI NIÑO AU XX^e SIÈCLE



Source : Shugart, communication personnelle.

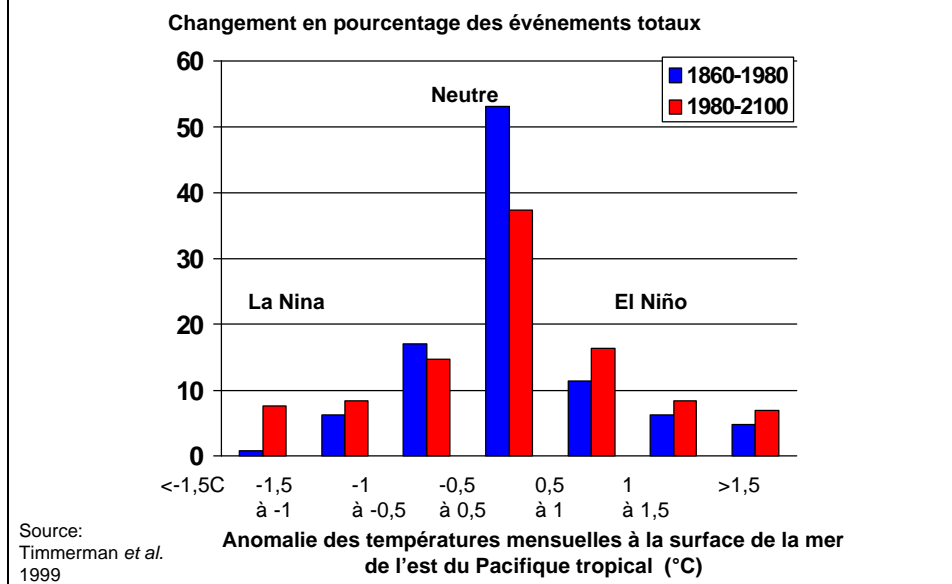
Les températures de la surface de la mer en juillet dans l'est du Pacifique tropical sont un des indicateurs des épisodes El Niño et La Niña. L'analyse suggère que les épisodes El Niño sont devenus plus intenses et plus fréquents depuis une vingtaine d'années.

On ne peut toujours pas dire avec certitude si ces tendances sont dues à la variabilité naturelle à long terme ou à des changements sans précédent des climats ENSO.

Source: Shugart, communication personnelle en

Francis, D. & H. Hengeveld. 1998. *Extreme Weather and Climate Change*. Environment Canada, Downsview, Ontario.

Changements projetés dans le comportement de l'El Niño-La Nina



Les modèles climatiques donnent à penser que le nombre d'événements faibles de l'El Niño/La Nina va sans doute baisser, alors que celui des événements forts va augmenter.

Les changements survenant dans l'intensité projetée des Ninas sont bien plus importants que pour les El Niños.

Source: Timmerman, A., M. Latif, A. Grotzner, A. and R. Voss. 1999. El Nino frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. *Nature* 398: 694-697.



La science du changement climatique

Volet 5 : Répercussions

Mis à jour Avril 2001

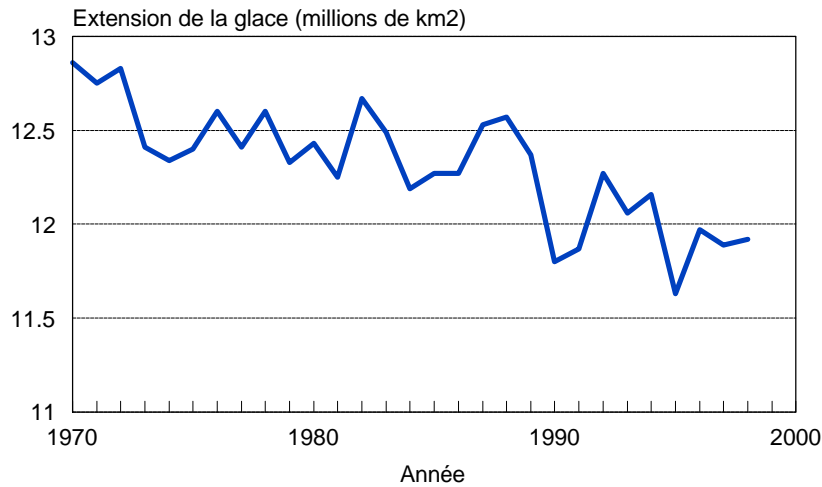


Canada

Répercussions possibles du changement climatique sur la population canadienne

- au Canada, les variations seront probablement supérieures aux moyennes mondiales;
- on s'attend à que les plus grandes menaces soient liées aux variations de fréquence/d'intensité des phénomènes météorologiques extrêmes;
- le stress lié à la chaleur, un risque accru de maladies et l'aggravation de la pollution influenceront directement sur la santé de la population canadienne;
- on devrait également s'attendre à une baisse du niveau des lacs, un risque accru d'incendies de forêts et à des changements perturbateurs des limites des écosystèmes;
- le changement climatique aura aussi des avantages : diminution des coûts de chauffage en hiver, allongement de la saison de croissance et augmentation du transport maritime due à la réduction de la couverture de glace.

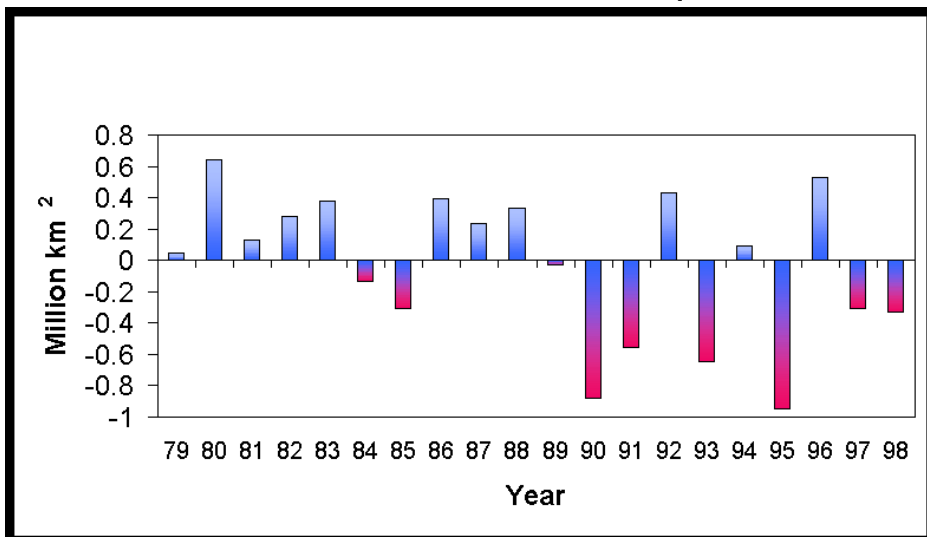
l'hémisphère Nord



Source: Vinnikov *et al.* 1999

- Source : Extrait de la figure 1 d'une présentation publiée dans Vinnikov, K.Y., A. Robock, R.J. Stouffer *et al.* 1999. Global warming and Northern Hemisphere sea ice extent. *Science* 286: 1934-1937 (mais les données originales proviennent de Chapman et Walsh).
- Les auteurs se fondent sur des études par modélisation pour suggérer que la baisse observée entre 1978 et 1998 a une probabilité d'occurrence naturelle inférieure à 2 %. Des tendances similaires sur un enregistrement plus long, de 1953 à 1998, ont une probabilité d'occurrence naturelle beaucoup plus basse, inférieure à 0,1 %.

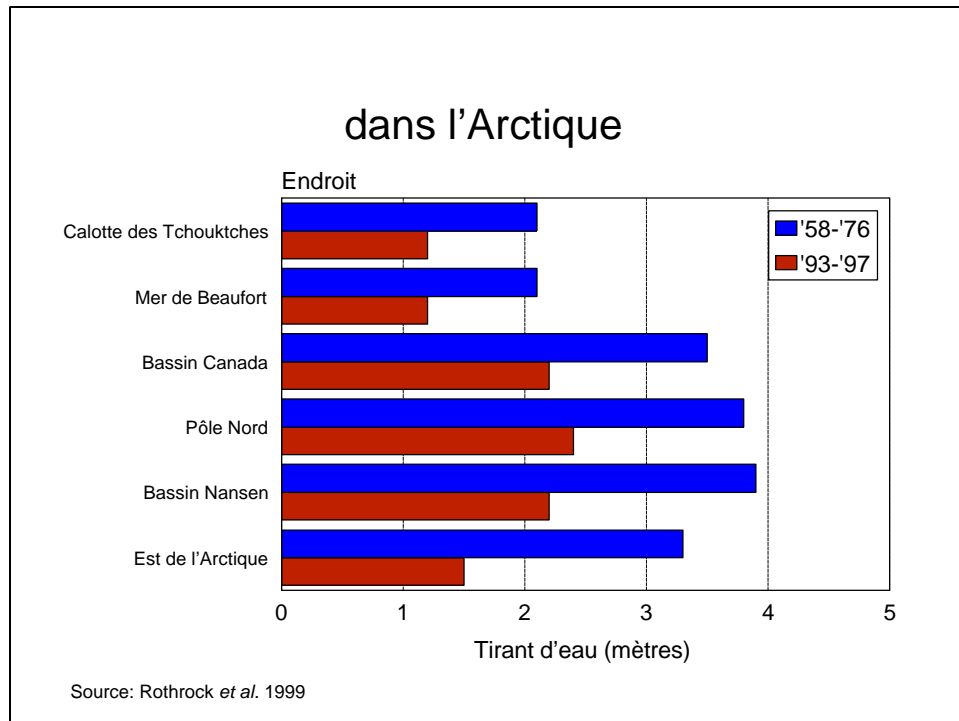
L'anomalie de la couverture de glace de mer en été sur l'océan Arctique



Source: T. Agnew, MSC.

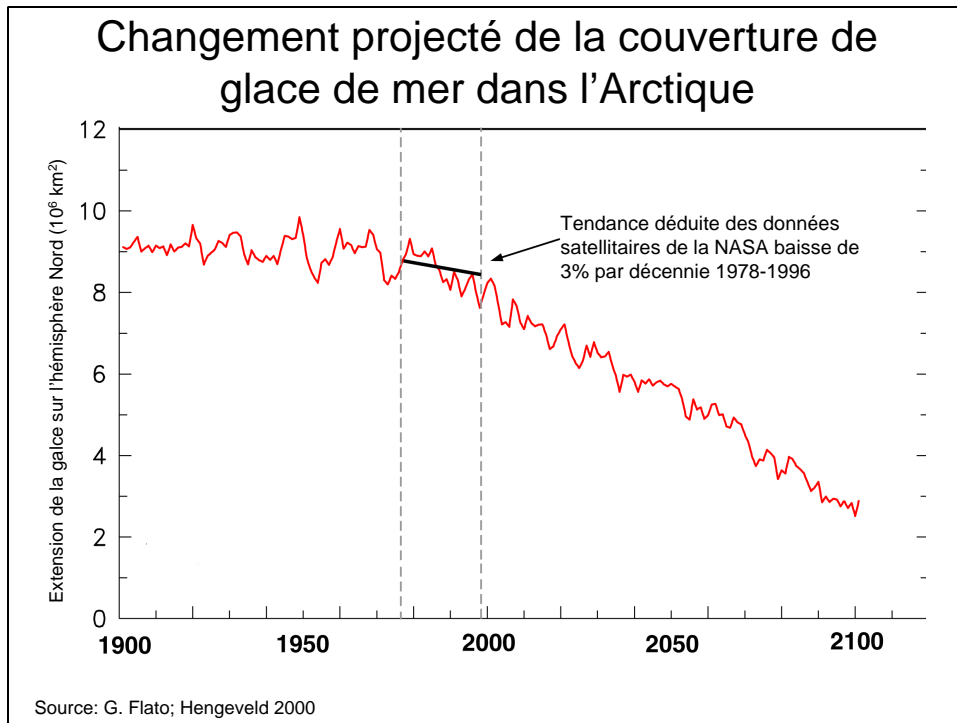
L'anomalie de la couverture de glace de mer en été sur l'océan Arctique montre une couverture de glace inférieure à la normale en 1997 et en 1998 et que six des dix premières années de couverture minimale de glace de mer en été sont tombées dans les années 90.

Source: <http://www.tor.ec.gc.ca/crysys/tagnew/state/98summer.htm>



- Les données proviennent de mesures faites à partir de sous-marins à la fin de la saison de fonte.
- L'épaisseur a diminué dans toutes les régions de l'Arctique.
- La diminution moyenne est d'environ 42 %, avec des réductions plus élevées dans l'est de l'Arctique (55 %) et moindres dans le bassin Canada et au pôle Nord (37 %).

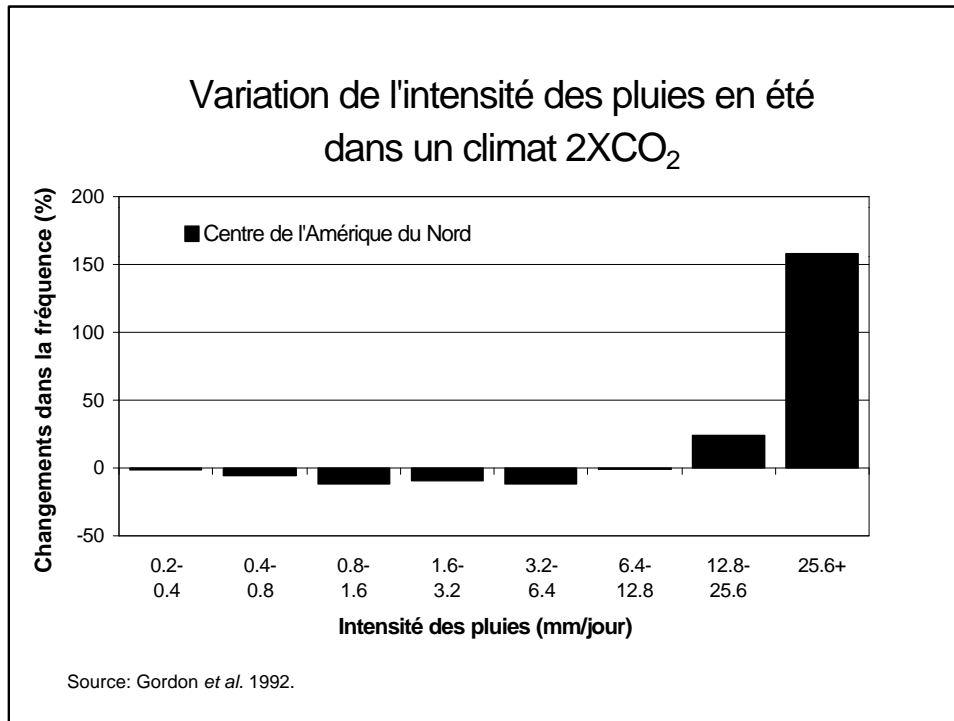
Source: Rothock, D.A., Y. Yu and G.A. Maykut. 1999. Thinning of the Arctic sea-ice cover. *GRL* 26: 3469-3472.



Selon les projections de MCGG1, la couverture de glace de mer dans l'hémisphère Nord subira d'importants changements, sa superficie annuelle moyenne étant réduite d'environ 40% en 2050 et presque nulle en 2100.

Source: Hengeveld, H.G. 2000. Projections for Canada's Climate Future. CCD 00-01 Special Edition.

http://www.msc-smc.ec.gc.ca/apac/climate/ccsci_f.cfm

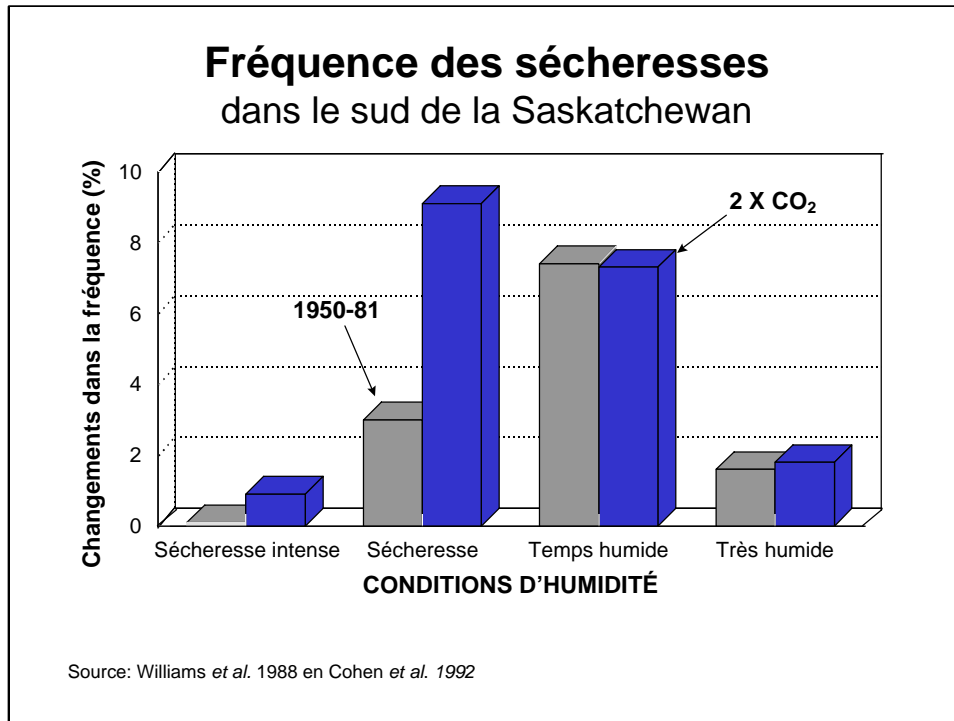


On projette une augmentation marquée de la fréquence des épisodes de précipitations intenses en été dans le centre des États-Unis, comme dans la plupart des régions de l'intérieur ailleurs dans le monde.

Les épisodes de pluie faible deviendront moins fréquents.

On s'attend à une diminution du nombre total de jours de pluie.

Source: 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. *Climate Dynamics* 8: 83-102.



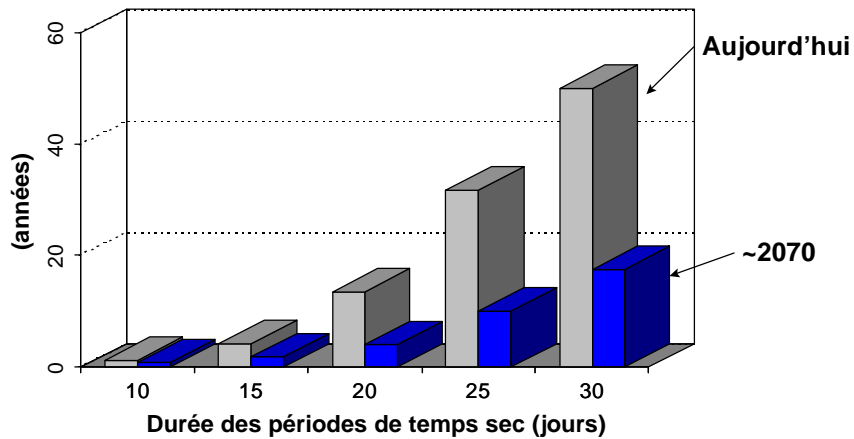
L'analyse des risques de sécheresse pour le sud de la Saskatchewan selon plusieurs scénarios d'évolution du climat suggère que les conditions d'humidité du sol pourraient devenir plus variables.

Au cours d'étés secs, des températures plus élevées dans des climats plus chauds entraîneraient un accroissement de l'évaporation et de la fréquence des conditions de sécheresse intense (Indice de sécheresse Palmer [-6]), ce qui augmenterait de façon considérable les périodes de sécheresse (ISP entre -4 et -6).

De même, pendant les étés humides, lorsque les températures sont généralement plus fraîches, il y aurait davantage de précipitations dans le sud de la Saskatchewan selon certains scénarios de l'évolution du climat, ce qui laisse supposer que les conditions d'humidité du sol pourraient devenir plus variables.

Source: Cohen, S., E. Wheaton and J. Masterton. 1992. Impacts of Climatic Change Scenarios in the Prairie Provinces: A Case Study from Canada. SRC Publication No. E-2900-4-D-92, Saskatchewan Research Council, Saskatoon, Canada, 157 pp.

Changements projetés dans la fréquence des sécheresses (dans le centre de l'Amérique du Nord)



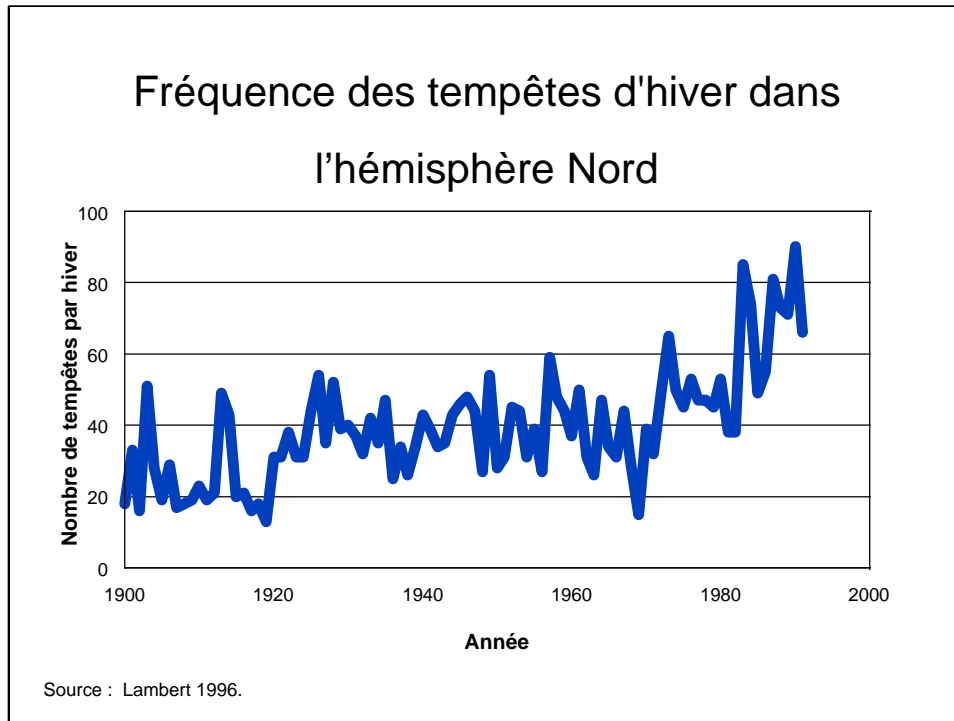
Source: adapté de Gregory *et al* 1997.

Les périodes de pluie abondantes en été devraient devenir beaucoup plus fréquentes dans le centre des États-Unis, comme dans la plupart des régions de l'intérieur ailleurs dans le monde.

Les épisodes de pluie faible en été seront moins fréquents.

Il devrait y avoir une augmentation du nombre total de jours de pluie.

Source: Gregory, J.M., J.F.B. Mitchell, A.J. Brady. 1997. Summer drought in northern midlatitudes in a time dependent CO₂ experiment. *Journal of Climate* 10(4): 662-686.

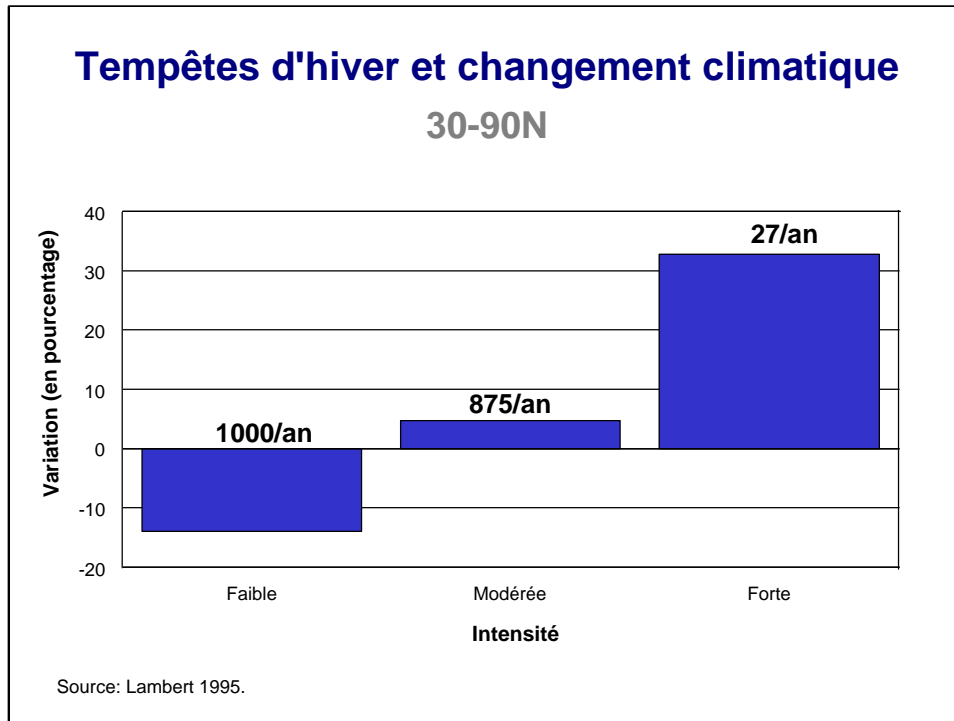


L'analyse des tempêtes hivernales majeures, avec pression en surface inférieure à 970 mb, révèle une hausse significative des tempêtes d'hiver intenses au cours des dernières décennies.

La qualité des données historiques utilisées dans cette étude a été beaucoup remise en question.

Toutefois, les experts suggèrent que les tendances sont trop marquées pour être attribuables à des erreurs de données.

Source: Lambert, S.J. 1996. Intense extratropical northern hemisphere winter cyclone events: 1899-1991. *Journal of Geophysical Research* 101: 21,219-21,325



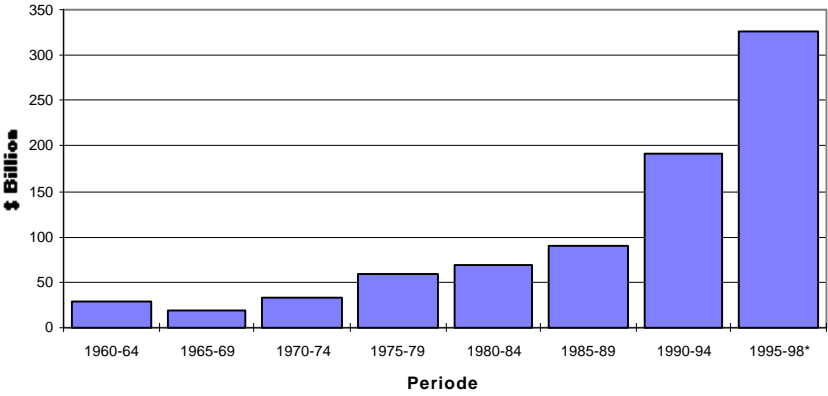
Dans un scénario de 2XCO₂ (à l'équilibre), le nombre total de tempêtes d'hiver dans l'hémisphère Nord devrait diminuer.

Toutefois, les études qui utilisent les données du modèle canadien suggèrent qu'il est probable que le nombre de tempêtes d'hiver intenses augmentera dans l'hémisphère Nord.

Il est également possible que la fréquence des tempêtes d'hiver intenses dans l'hémisphère Sud augmente davantage.

Source: Lambert, S.J. 1995. The effect of enhanced greenhouse warming on winter cyclone frequencies and strengths. *Journal of Climate* 8: 1447-1452.

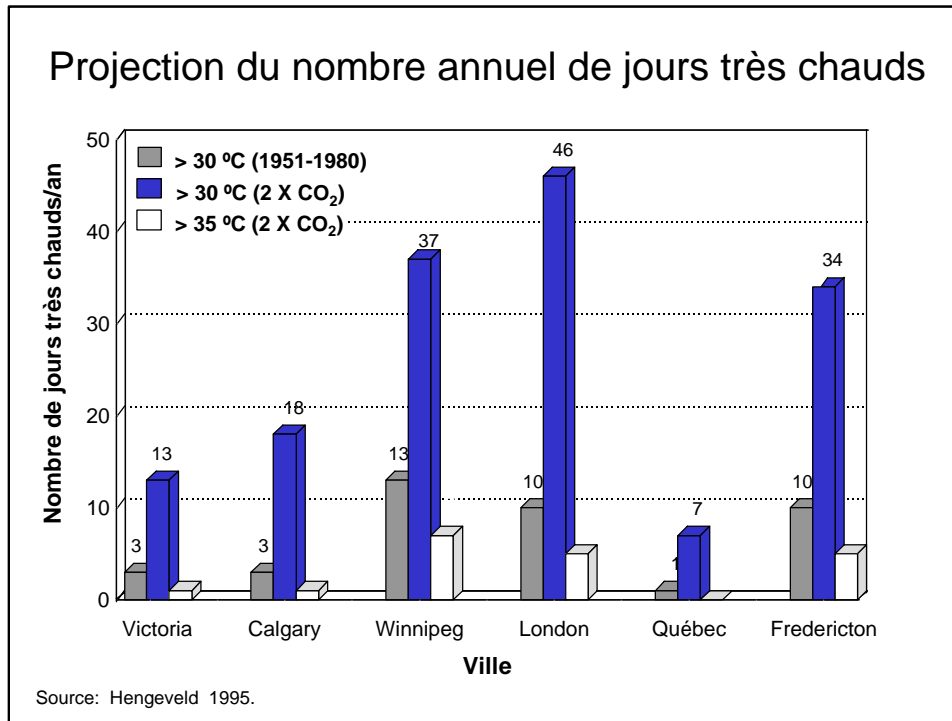
PERTES ÉCONOMIQUES DIRECTES RÉSULTANT DE DÉSASTRES NATURELS



Source: Adapted from Munich Re 1998.

Récents désastres : Variabilité naturelle ou changement climatique?

- On a l'impression qu'il y a eu un nombre élevé de catastrophes d'ordre météorologique au cours de la dernière décennie.
- Hausse considérable des pertes économiques.
- Indications scientifiques d'une tendance à la hausse de certains types de phénomènes à des endroits spécifiques (preuves inexistantes dans d'autres cas).
- L'occurrence des désastres concorde en gros avec les projections de changements climatiques.
- Étant donné la variabilité naturelle du climat, il est difficile de lier des événements individuels à des causes spécifiques.



Le nombre de jours très chauds (plus de 30 °C) devrait augmenter de façon significative au Canada.

Par exemple, on enregistre actuellement à Winnipeg une moyenne de 13 jours par année où le mercure dépasse la barre des 30 °C. Dans un scénario type de

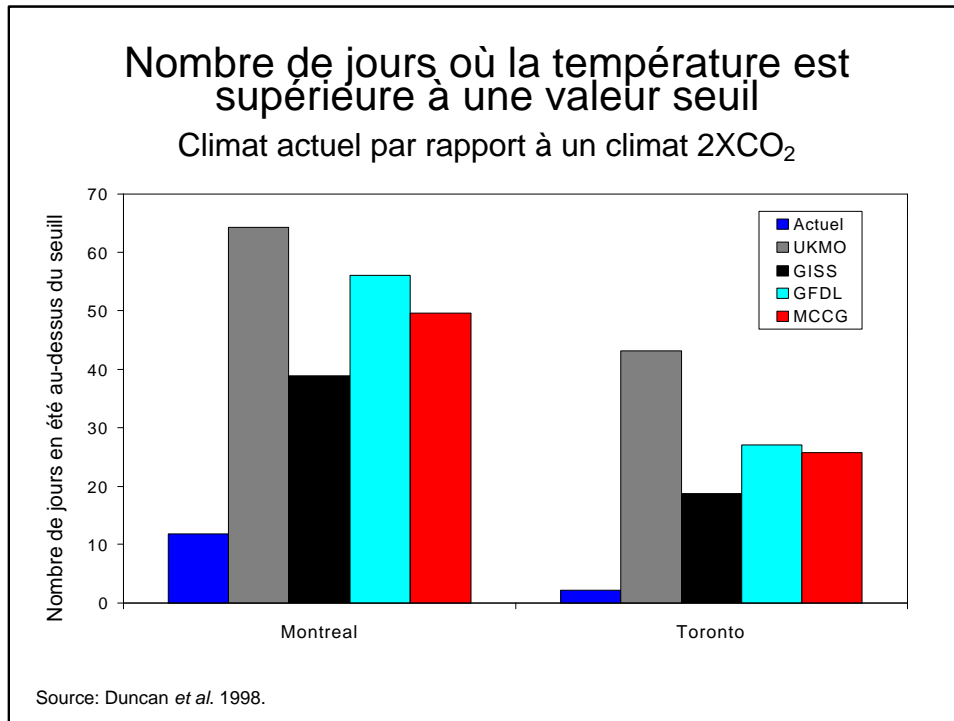
2 X CO², on estime que Winnipeg connaîtra en moyenne 37 jours où les températures seront supérieures à 30 °C.

Le nombre de journées extrêmement chaudes (plus de 35 °C) augmentera également.

Une hausse du nombre de jours très chauds pourrait accroître les risques de stress thermique, surtout chez les populations vulnérables comme les personnes âgées, les enfants et les personnes souffrant de maladies pulmonaires chroniques (p.ex., l'asthme).

Entre-temps, le nombre de jours extrêmement froids diminuerait de façon considérable, ce qui réduirait les risques pour la santé en hiver.

Source: Hengeveld, H.G. 1995. Understanding Atmospheric Change: A Survey of the Background Science and Implications of Climate Change and Ozone Depletion. SOE Report No. 95-02.



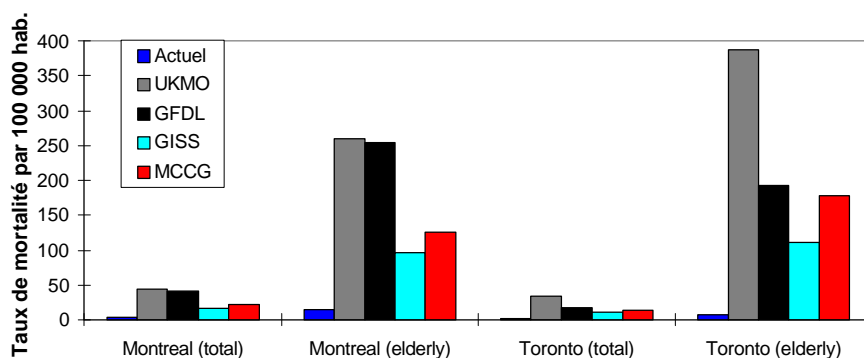
Le seuil de température d'une ville donnée est la température maximale quotidienne à partir de laquelle le taux de mortalité augmente de façon significative.

On a constaté que Montréal a un seuil de température de 29 °C, tandis que Toronto a un seuil légèrement plus élevé, soit de 33 °C.

Tous les modèles projettent une hausse importante du nombre de jours où la température sera supérieure aux seuils actuels. Sans acclimatation, on s'attend à ce que les cas de mortalité liés à la chaleur augmentent également avec le doublement de la concentration de CO₂.

Source: Duncan, K., T. Guidotti, W. Cheng et al. 1998. Chapter 11: Health Sector. pp501-590, in: Koshida, G. and W. Davis (eds). *Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*. Vol VII. Environment Canada, Downsview, Ontario.

Estimation des cas de mortalité future au Canada attribuables aux conditions météorologiques en été



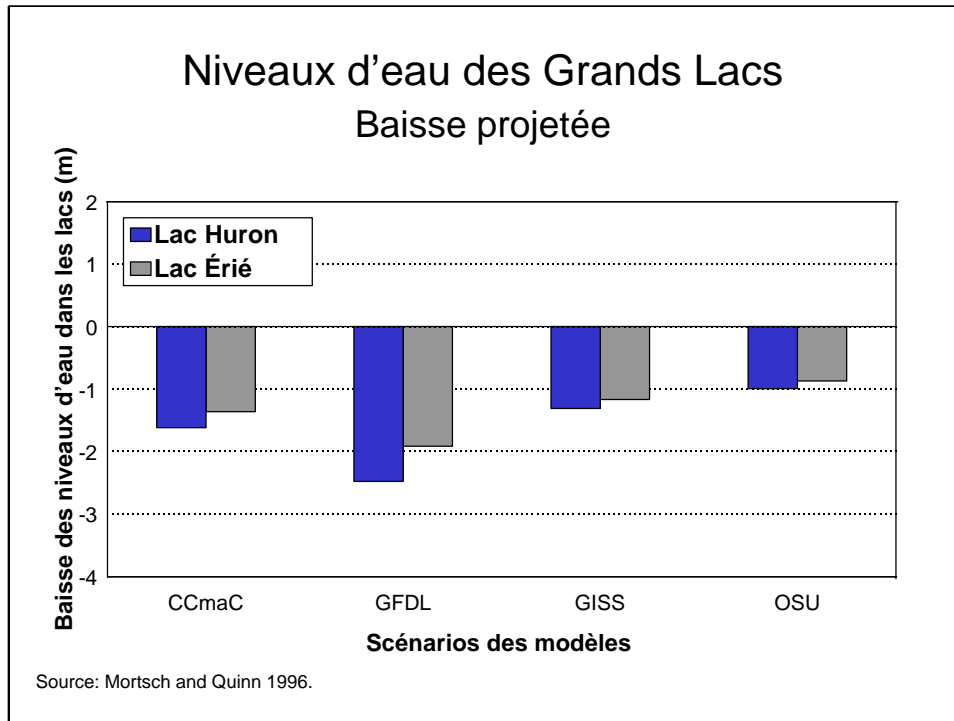
Source: Duncan *et al.* 1998.

Dans le climat actuel, le taux de mortalité due aux conditions météorologiques est très bas.

Les modèles projettent que le taux de mortalité future attribuable à la chaleur augmentera pour la population en général.

Toutefois, dans le cas des populations de personnes âgées tant à Toronto qu'à Montréal, on projette une hausse significative des cas de mortalité dus à la chaleur.

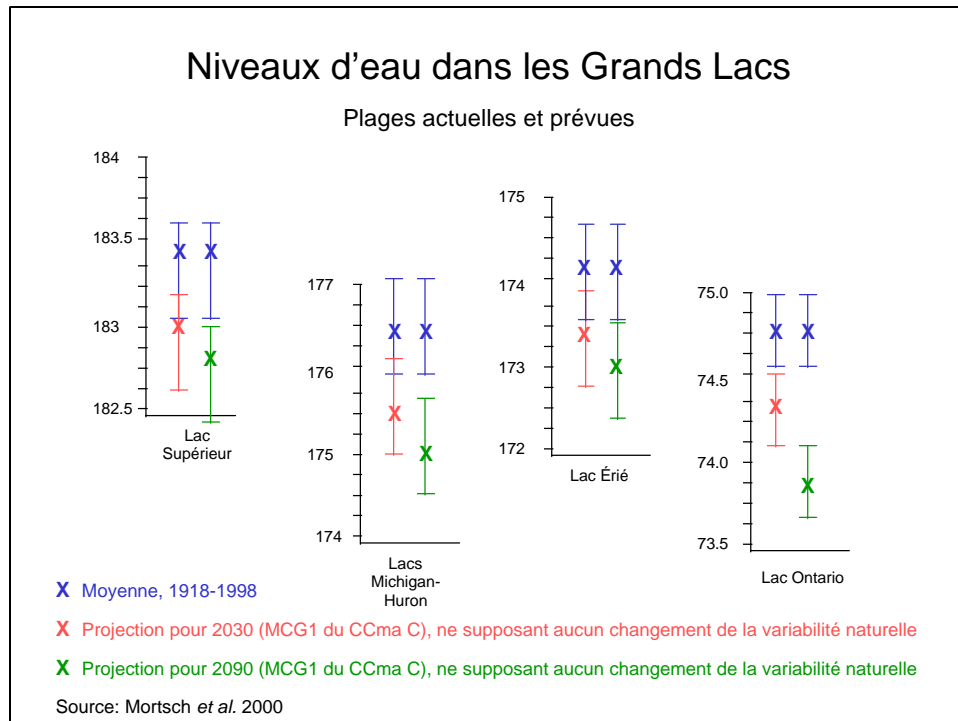
Source: Duncan, K., T. Guidotti, W. Cheng *et al.* 1998. Chapter 11: Health Sector. pp501-590, in: Koshida, G. and W. Davis (eds). *Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*. Vol VII. Environment Canada, Downsview, Ontario.



Les projections de quatre scénarios de modèles différents pour des climats 2 X CO₂ révèlent toutes une baisse minimale d'environ 1 mètre des niveaux d'eau dans les lacs Huron et Érié.

Ces niveaux pourraient même baisser de 2 mètres ou plus.

Source: Mortsch, L.D. and F.H. Quinn. 1996. Climate change scenarios for Great Lakes ecosystem studies. *Limnology and Oceanography* 41(5): 903-911.

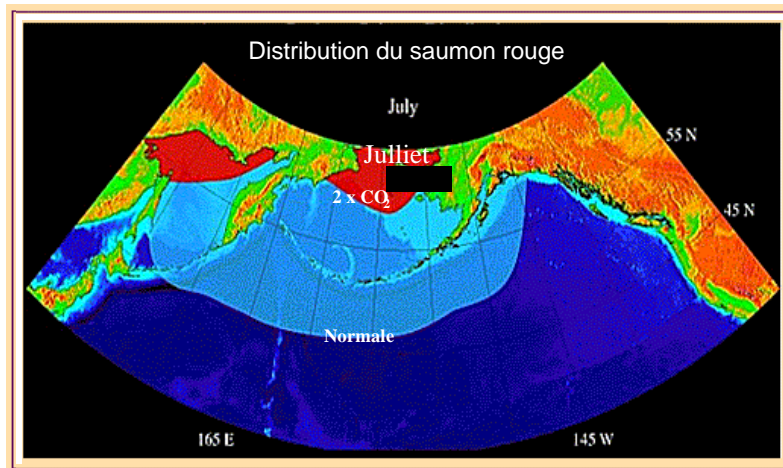


Les niveaux projetés des Grands Lacs devraient baisser.

On prévoit des baisses de 0,5 à 1,0 m d'ici 2030. D'ici la fin du siècle, les niveaux devraient baisser dramatiquement. Le **x et la barre d'erreur verts** illustrent que les niveaux moyens de l'eau dans les Grands Lacs en 2090 pourraient être inférieurs aux niveaux minimum historiques.

Source: Mortsch *et al.* 2000. Climate Change Impacts on the Hydrology of the Great Lakes - St.Lawrence System. CWRJ 25(2): 153-170.

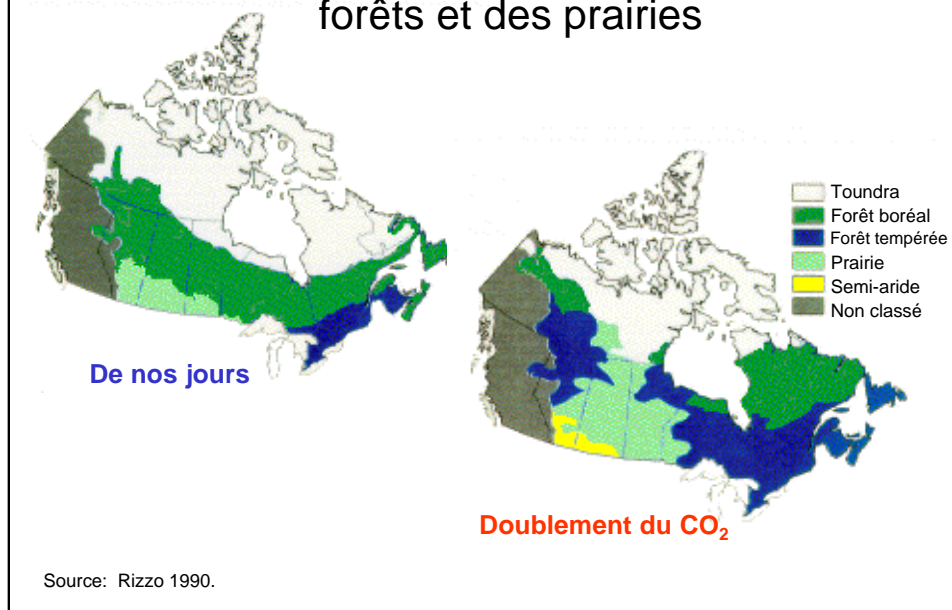
Le changement climatique et le saumon rouge du Pacifique



Source : Min. des Pêches et des Océans

- Nos ressources naturelles subiront l'influence du changement.
- Le ministère des Pêches et des Océans a identifié quelques changements que pourrait subir l'habitat du saumon rouge.
- La ligne bleue indique l'actuelle limite sud de la répartition du saumon rouge en juillet.
- La ligne rouge indique cette limite dans un scénario 2xCO₂.
- Ce changement aurait des impacts énormes sur la pêche et les collectivités qui en vivent.

Modifications des limites géographiques des forêts et des prairies



Le climat exerce une grande influence sur l'endroit où certaines espèces de plantes vont croître et se développer. Ainsi, avec l'évolution du climat, les écosystèmes modifieront à terme leurs limites.

Une simple projection de ce type de changements dans un climat 2 X CO₂, en considérant seulement les changements climatiques, suggère une réduction significative de l'étendue de la forêt boréale au Canada, tandis que la région des prairies et des forêts tempérées s'accroît.

Étant donné que les forêts migrent très lentement, le passage de ces écosystèmes à de nouvelles zones climatiques serait en retard sur les changements climatiques.

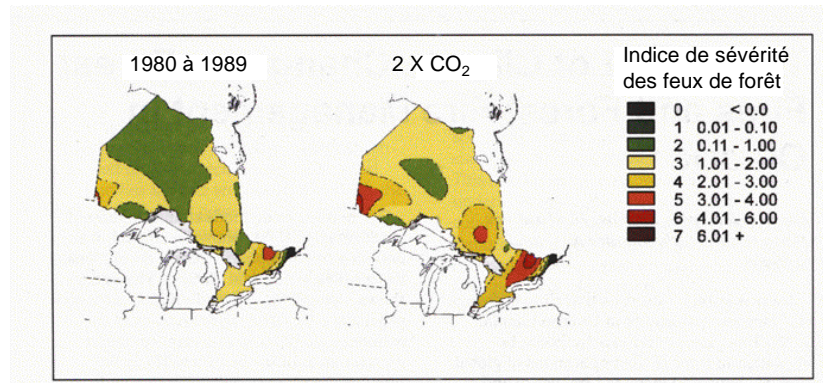
Cette situation entraînerait un dépérissement des plantes et des pertes dues aux insectes, aux maladies et aux incendies dans les régions de ces écosystèmes où les changements climatiques exercent un grand stress.

Il est probable que les changements qui surviendront au sein des écosystèmes soient beaucoup plus complexes qu'on ne le croit, puisque les effets directs d'une augmentation du CO₂ et d'autres facteurs influenceront aussi sur les écosystèmes.

Ces changements pourront également, en retour, influencer de façon importante sur les climats régionaux.

Source: Rizzo, B., Environment Canada. 1990. *Personal Communication*. in: Hengeveld, H. 1995. Understanding Atmospheric Change. SOE Report No. 95-02.

Changements projetés de l'intensité saisonnière des feux de forêts en Ontario



Source: Colombo *et al.* 1998.

On projette un accroissement de l'activité des feux de forêts en Ontario avec le changement climatique.

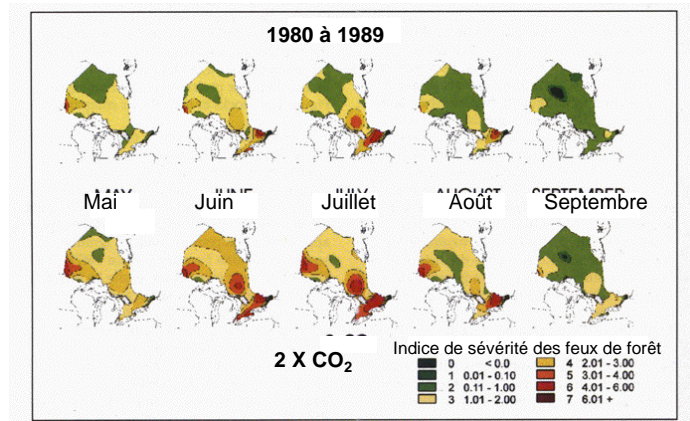
Cette augmentation de l'activité (en Ontario) peut être attribuée à 3 facteurs :

- accroissement de la fréquence et de l'intensité des sécheresses;
- augmentation de la variabilité du climat et de l'incidence des phénomènes climatiques extrêmes;
- hausse des températures au printemps et à l'automne.
-

Selon les projections des modèles, les changements les plus importants surviendront dans l'extrême ouest (région de Kenora) et sud-est (région d'Ottawa) de la province.

Source: Colombo, S.J., M.L. Cherry, C. Graham *et al.* 1998. *The Impacts of Climate Change on Ontario's Forests*. Ontario Forest Research Institute, Ontario Ministry of Natural Resources, Sault Ste. Marie, Ontario.

Variation projetée de l'intensité des feux de forêts en Ontario



Source: Colombo *et al.* 1998.

Dans des climats plus chauds, la distribution mensuelle de l'intensité des feux de forêts devrait changer de façon considérable.

Les changements les plus marqués se produiront en juin et en juillet et, à un degré moindre, en mai.

Source: Colombo, S.J., M.L. Cherry, C. Graham et al. 1998. *The Impacts of Climate Change on Ontario's Forests*. Ontario Forest Research Institute, Ontario Ministry of Natural Resources, Sault Ste. Marie, Ontario.



La science du changement climatique

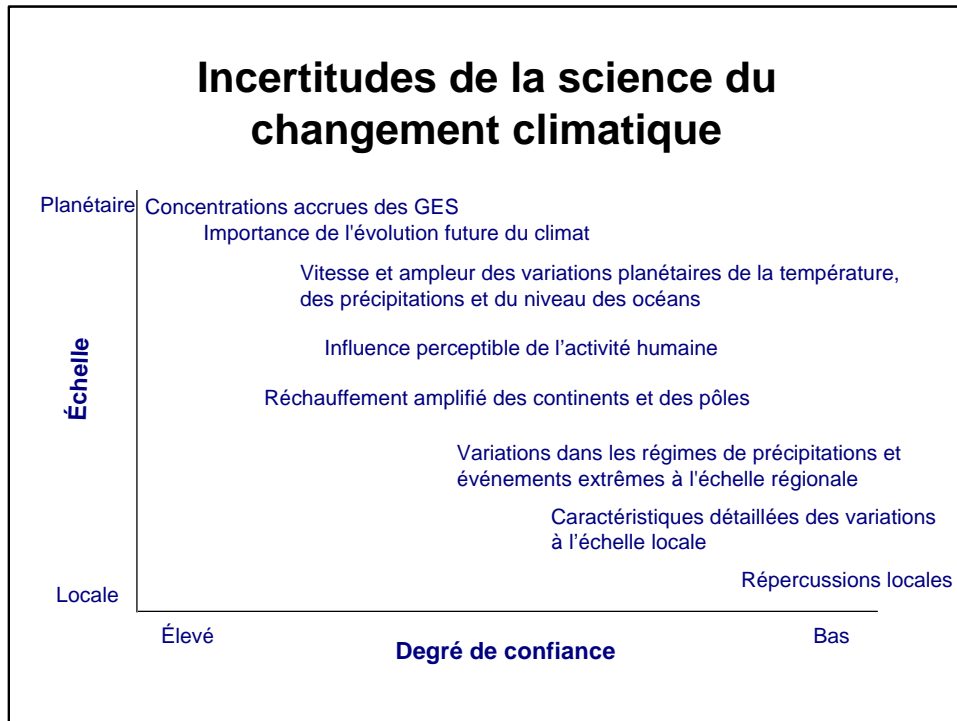
Volet 6: Politiques & conclusions

Mis à jour Avril 2001



Canada

Le lien entre la science et les politiques



Les scientifiques ont les certitudes suivantes :

- il y a un effet de serre naturel;
- les concentrations de gaz à effet de serre augmentent rapidement.

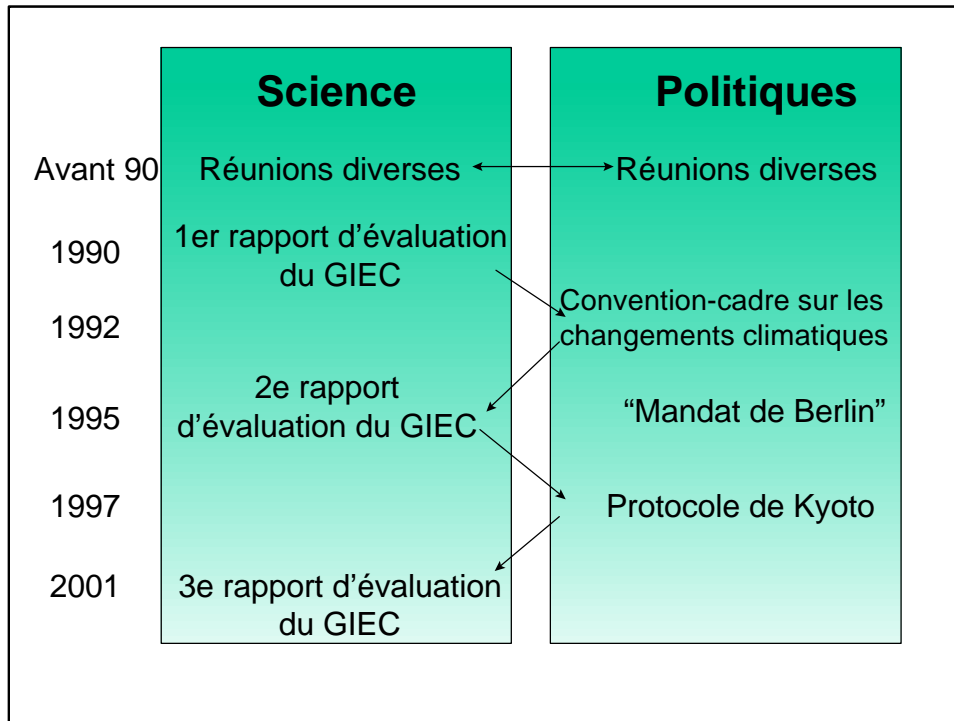
Ils expriment un degré de confiance bon à élevé pour ce qui est des éléments suivants :

- le changement climatique induit par l'activité humaine à l'échelle planétaire au cours du prochain siècle sera le premier du genre depuis au moins 10 000 ans;
- les risques des dangers connexes sont élevés;
- ce sont les conditions climatiques des pôles et des continents qui subiront le plus de changements;
- on peut déjà déceler l'influence de l'homme sur le climat.

Il y a de nombreuses incertitudes quant à l'ampleur et à la vitesse du changement climatique à l'échelle planétaire.

Les plus importantes étant liées :

- à la nature locale et régionale du climat futur;
- aux particularités locales des impacts.



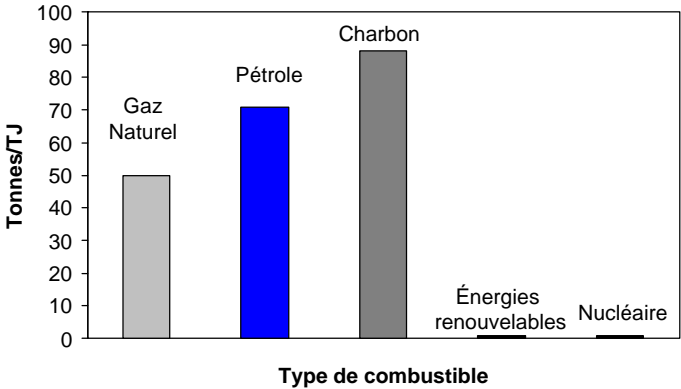
L'accroissement des connaissances scientifiques et l'élaboration de politiques visant à atténuer les dangers liés au changement climatique ont évolué de façon concurrente et interactive.

La première évaluation du GIEC a jeté les bases des discussions qui allaient mener à l'acceptation de la CCCC à l'échelle internationale.

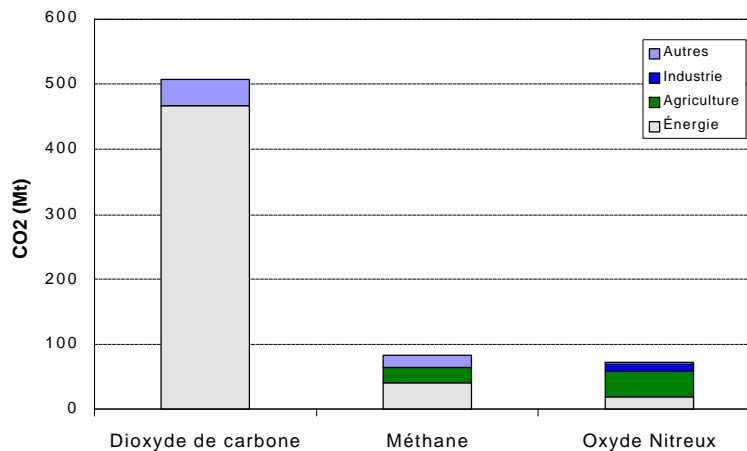
La deuxième évaluation du GIEC a fourni des bases scientifiques pour l'élaboration du Protocole de Kyoto.

Les évaluations subséquentes continueront d'être le moteur du développement des futures politiques.

Émissions directes de CO₂ par unité énergétique



Émissions canadiennes de gaz à effet de serre (équivalent CO₂)

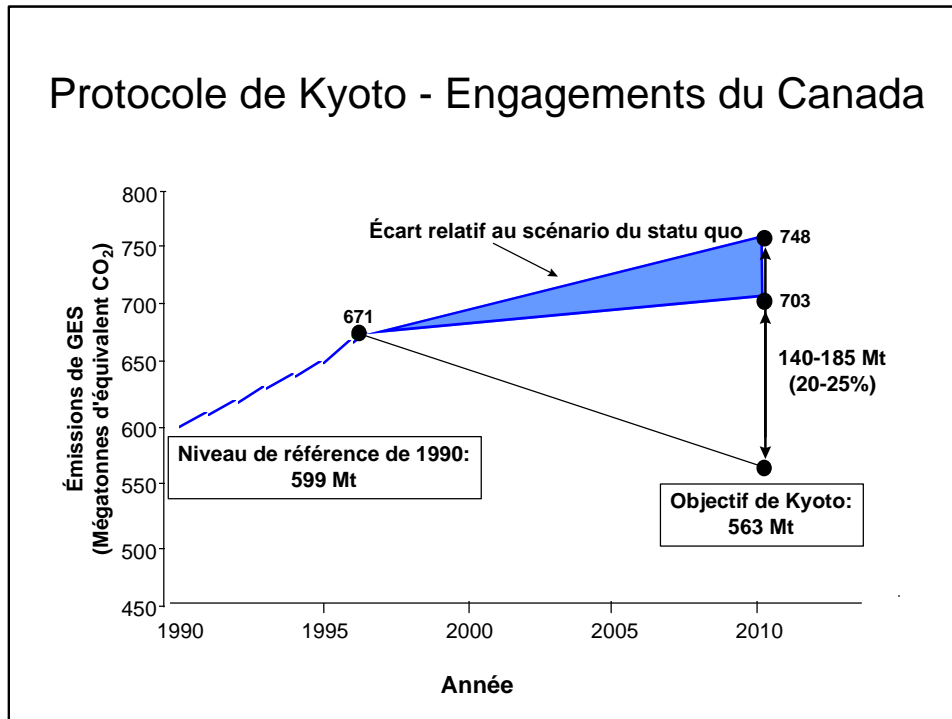


Au Canada, les principales sources anthropiques d'émissions de CO₂ sont directement liées à la combustion de combustibles fossiles (92 %). D'autres sources incluent la production de ciment et l'utilisation de combustibles fossiles non liée à leur combustion.

Près de 49 % des sources anthropiques de méthane rejettent cette substance pendant la production et la combustion de combustibles fossiles. D'autres rejets sont attribuables au secteur agricole, soit 28 %, et aux sites d'enfouissement, 23 %.

La source la plus importante d'émissions de N₂O (54 %) est l'utilisation d'engrais dans le secteur agricole. D'autres émissions, 25 %, sont rejetées pendant la combustion des combustibles fossiles (surtout par les véhicules) et 17 % pendant la production de l'ammoniac et de l'acide adipique.

Protocole de Kyoto - Engagements du Canada



En 1996, au Canada, les émissions de gaz à effet de serre étaient de 12 % supérieures par rapport aux niveaux de 1990.

Selon divers scénarios de statu quo, les projections futures suggèrent que, d'ici 2010, les émissions continueront de croître et qu'elles seront de 17 à 25 % supérieures aux niveaux de 1990.

Ces projections portent à croire que le fossé réel entre les émissions projetées d'ici 2010 et l'objectif de Kyoto se situe entre 20 et 25 %.

La mise en application, même complète, du Protocole de Kyoto ne fera que ralentir l'évolution du climat; elle ne pourra l'empêcher.

Facteurs socio-économiques liés aux émissions de CO₂ dues aux combustibles fossiles

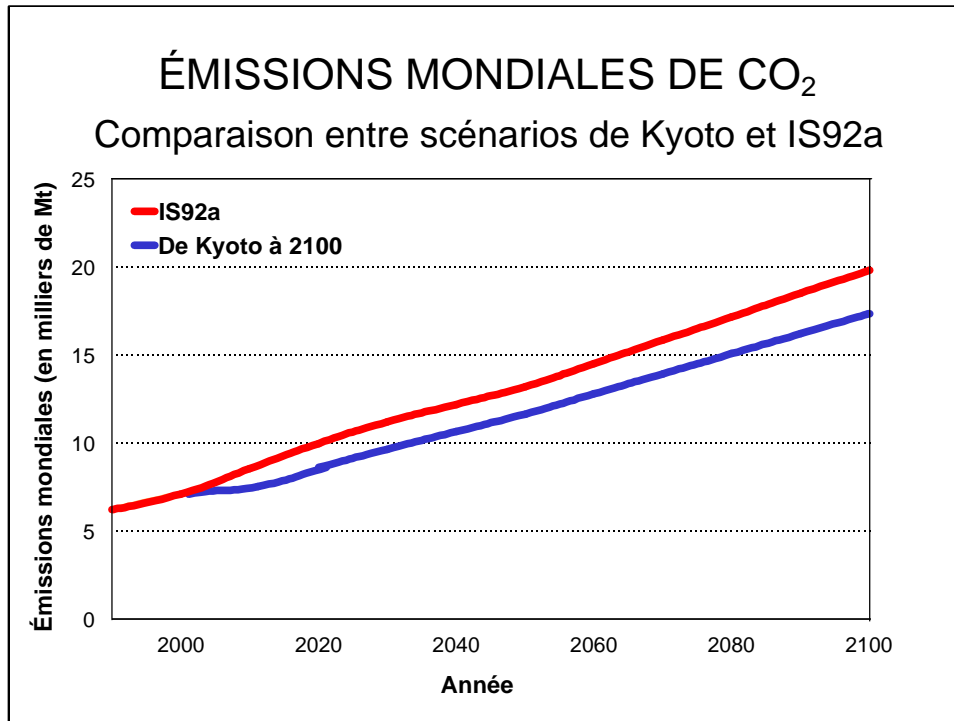
FORMULE DE KAYA:

$$\begin{aligned} \text{Émissions de CO}_2 &= \text{Population} \\ &\quad \times \text{PNB per capita} \\ &\quad \quad \quad (\text{richesse}) \\ &\quad \quad \quad \times \text{énergie/PNB} \\ &\quad \quad \quad \quad \quad (\text{rendement énergétique}) \\ &\quad \quad \quad \quad \quad \times \text{Carbone/énergie} \\ &\quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad (\text{type d'énergie}) \end{aligned}$$

On a souvent recours à la formule de Kaya pour montrer la relation entre les émissions de CO₂ et les variables fréquemment utilisées pour décrire la performance sociale et économique.

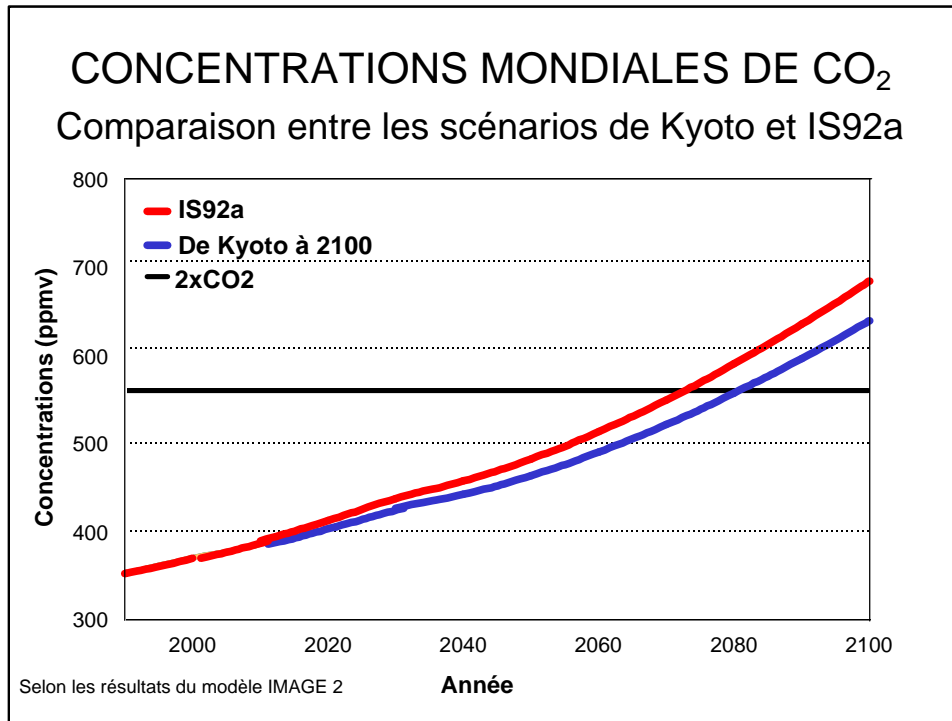
Cette formule suggère que l'efficacité énergétique et le type d'énergie sont d'égale importance en ce qui a trait à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Dans les cas des activités utilisant des énergies sans carbone (p. ex., les filières nucléaire, hydroélectrique, solaire, éolienne), on a un niveau d'émissions nul.



On prévoit pour l'avenir une hausse des émissions de CO₂ dans le scénario du statu quo (IS92a).

La mise en œuvre complète du Protocole de Kyoto ne réduira pas de façon significative les émissions futures de CO₂.



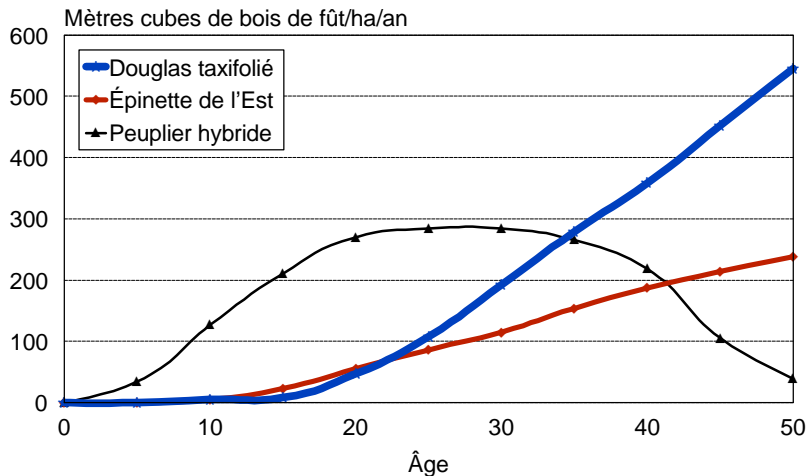
Si tous les pays de l'Annexe 1 satisfont aux engagements de Kyoto, les changements projetés des concentrations futures de gaz à effet de serre diminueront très peu.

Un doublement des concentrations de CO₂ serait toujours probable d'ici 2100.

Pour éviter le doublement des concentrations de CO₂, il serait presque assurément nécessaire d'exiger également des réductions des émissions des pays non visés par l'Annexe 1.

Séquestration du carbone (Puits)

Taux de croissance de diverses espèces d'arbres canadiennes

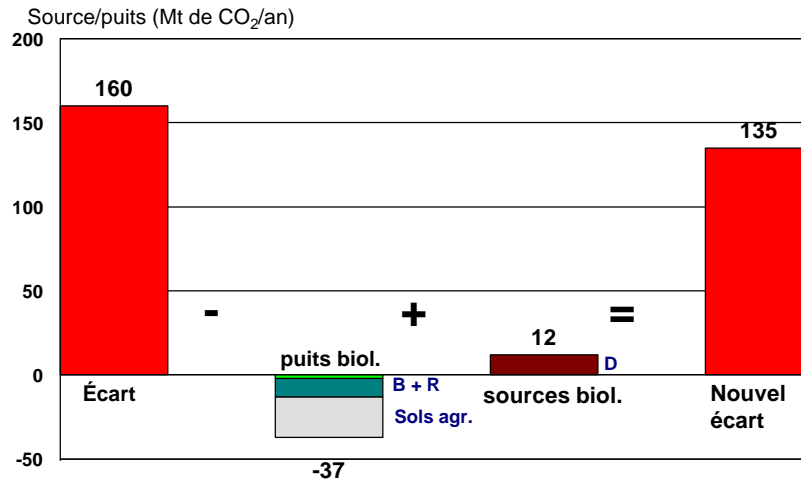


Source: Table des puits - Rapport sur les options 1999

- Le taux d'absorption de CO₂ par les arbres dépend beaucoup du type d'arbre et de l'âge du peuplement.
- Pour la plupart des espèces, il y a très peu d'accumulation de carbone dans les dix premières années de croissance.
- Les espèces à croissance rapide sont l'exception, mais arrivent vite à maturité, deviennent saturées en tant que puits et, à moins d'être exploitées, redeviennent une source.

Source: Table des puits - Rapport sur les options: Affectation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie au Canada et le Protocole de Kyoto. 23 Septembre 1999. 184pp.
http://www.nccp.ca/html/tables/pdf/options/Sinks_OR-Sep-23-1999_fr.pdf

Implications nettes des sources & puits biologiques pour ce qui est des engagements de Kyoto



- L'écart projeté entre les émissions industrielles SMQ et l'objectif de Kyoto est de 140 à 185 Mt de CO₂/an d'ici 2010. L'estimation de 160 Mt de CO₂ est une moyenne.

- Les puits biologiques pour 2010 incluent 24 Mt de CO₂ pour les sols agricoles, 11 Mt pour le reboisement et 2 pour le boisement.

- Les sources biologiques incluent 12 Mt de CO₂ pour le boisement.

- L'écart net de 135 Mt de CO₂ suggère que les activités RBD et les sols agricoles régleront environ 8,5 % du plafond cible de 2010.

Source: Table des puits - Rapport sur les options: Affectation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie au Canada et le Protocole de Kyoto. 23 Septembre 1999. 184pp.
http://www.nccp.ca/html/tables/pdf/options/Sinks_OR-Sep-23-1999_fr.pdf

Puits potentiels pour les forêts de Kyoto du Canada - Boisement

Activité	Puits en 2010 (Mt CO ₂ /an)	Puits total 2000-2050 (Mt CO ₂)
Peupliers hybrides 50 kha	1,3	n.d.
Brise-vent des Prairies 169 kha	0,2	29
Forêts des Prairies 260 kha	0,4	71
Forêts de Douglas taxifoliés 169 kha	<0,1	35
Épinettes de l'Est 195 kha	0,2	69
Total (843 kha)	2,1	204 (4/an)

* N'inclut pas l'augmentation possible des émissions de méthane et de N₂O

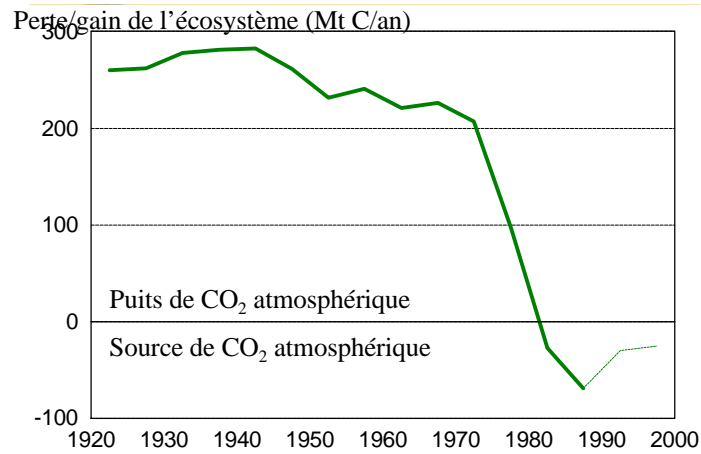
Source: Table des puits - Rapport sur les options 1999

- Un programme de boisement dynamique peut fournir un puits substantiel à long terme.
- Le puits est très petit à court terme.
- Les peupliers hybrides peuvent contribuer à un puits à court terme, mais devront être récoltés (et peut-être comptés comme une source) dans les décennies suivantes.
- On n'inclut pas les effets possibles sur les milieux humides dans ces forêts, ni sur les émissions de méthane et de N₂O.

Source: Table des puits - Rapport sur les options: Affectation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie au Canada et le Protocole de Kyoto. 23 Septembre 1999. 184pp.

http://www.nccp.ca/html/tables/pdf/options/Sinks_OR-Sep-23-1999_fr.pdf

Tendances des pertes/gains en carbone des forêts canadiennes (1920-1989)



Source: Table des puits - Rapport sur les options 1999

- Les forêts du Canada sont un élément significatif de l'absorption du CO₂ atmosphérique excédentaire.
- Dans la dernière décennie, ces forêts sont devenues une source.
- La principale raison en est l'augmentation des incendies.
- Les projections suggèrent que la régénération naturelle après incendie transformera graduellement cette source nette en puits dans les décennies à venir.
- Ces projections ne prennent pas en compte les effets d'un climat plus chaud sur les risques d'incendies et d'autres perturbations.

Source: Table des puits - Rapport sur les options: Affectation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie au Canada et le Protocole de Kyoto. 23 Septembre 1999. 184pp.
http://www.nccp.ca/html/tables/pdf/options/Sinks_OR-Sep-23-1999_fr.pdf

Puits potentiels pour les fermes de Kyoto du Canada

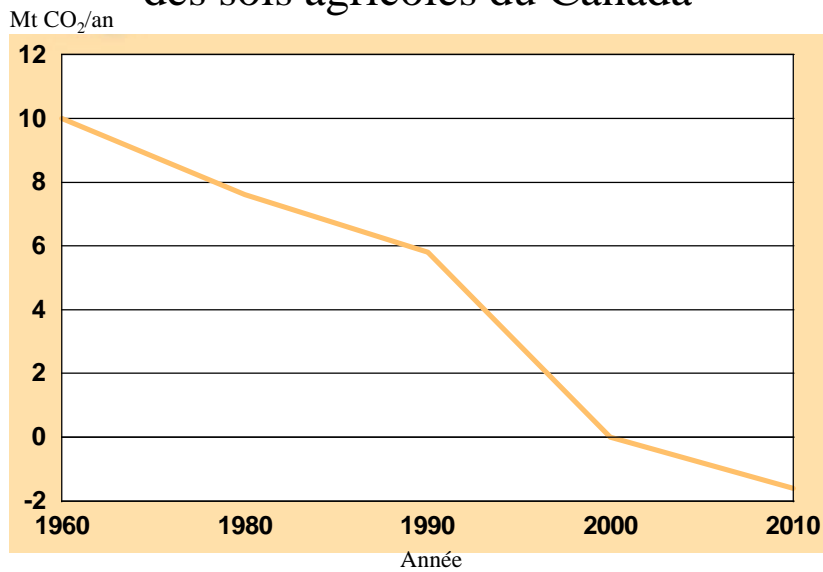
Activité	Puits en 2010 (Mt CO ₂ /an)	Puits en 2015 (Mt CO ₂ /an)
Travail du sol minimal	18	18
Gestion des pâturages	1	3
Accroissement des herbages	2	22
Restauration des milieux humides	3	3
Total	24	46

N'inclut pas les effets indirects sur les émissions de méthane et d'hémioxyde d'azote

Source: Table des puits - Rapport sur les options 1999

Source: Table des puits - Rapport sur les options: Affectation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie au Canada et le Protocole de Kyoto. 23 Septembre 1999. 184pp.
http://www.nccp.ca/html/tables/pdf/options/Sinks_OR-Sep-23-1999_fr.pdf

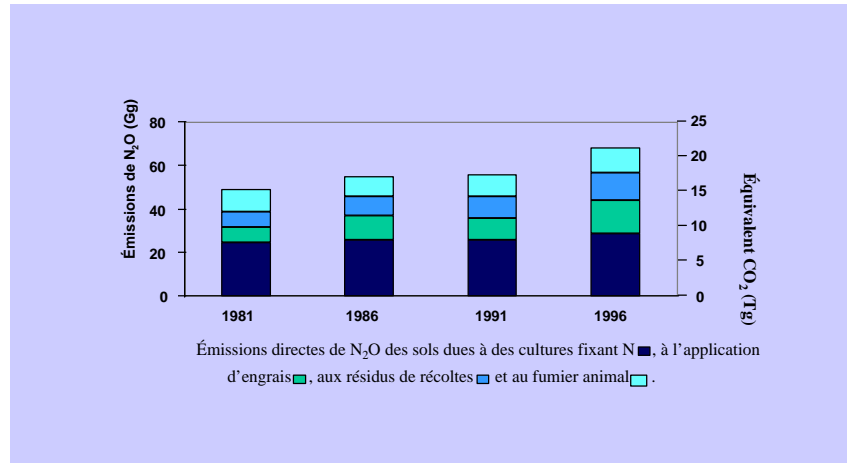
Tendances récentes et projetées du flux de CO₂ des sols agricoles du Canada



Source: Table des puits - Rapport sur les options 1999

Source: Table des puits - Rapport sur les options: Affectation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie au Canada et le Protocole de Kyoto. 23 Septembre 1999. 184pp.
http://www.nccp.ca/html/tables/pdf/options/Sinks_OR-Sep-23-1999_fr.pdf

Tendances des émissions directes de N₂O des sols du Canada



Émissions totales de N₂O en 1996 de 39 Mt d'équivalent CO₂

Source: Environnement Canada

Conclusions

- Les risques d'un changement climatique d'importance demeurent réels et significatifs.
- Des faits confirment que des changements climatiques sont en train de se produire.
- Les répercussions possibles sur la population canadienne peuvent être significatifs, notamment dans le cas des phénomènes extrêmes.
- Le Protocole de Kyoto ne va pas assez loin dans ses efforts de réduction des émissions pour freiner les changements futurs du climat.
- L'adaptation est primordiale à toute stratégie visant le changement climatique.

References

- Boer, G. J., Flato, G. M., and Ramsden, D. 2000. **A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: projected climate to the twenty-first century.** *Climate Dynamics* 16(6): 427-450.
- Carbon Dioxide Information Analysis Center. Marland, G., T.A. Boden, R. J. Andres, A. L. Brenkert, and C. Johnston. 1999. Global, Regional, and National CO₂ Emissions. In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.) http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/emis/tre_glob.htm
- Cohen, S., E. Wheaton and J. Masterton. 1992. Impacts of Climatic Change Scenarios in the Prairie Provinces: A Case Study from Canada. SRC Publication No. E-2900-4-D-92, Saskatchewan Research Council, Saskatoon, Canada, 157 pp.
- Colombo, S.J., M.L. Cherry, C. Graham et al. 1998. *The Impacts of Climate Change on Ontario's Forests*. Ontario Forest Research Institute, Ontario Ministry of Natural Resources, Sault Ste. Marie, Ontario.
- Duncan, K., T. Guidotti, W. Cheng et al. 1998. Chapter 11: Health Sector. pp501-590, in: Koshida, G. and W. Davis (eds). *Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*. Vol VII. Environment Canada, Downsview, Ontario.
- Fedorov, A. V. and Philander, S. G. 2000. **Is El Nino changing?** *Science* 288(5473): 1997-2002.
- Francis, D. & H. Hengeveld. 1998. *Extreme Weather and Climate Change*. Environment Canada, Downsview, Ontario.
- Gordon et al. 1992. Simulated changes in daily rainfall intensity due to enhanced greenhouse effect: implications for extreme rainfall events. *Climate Dynamics* 8: 83-102.
- Gregory, J.M., J.F.B. Mitchell, A.J. Brady. 1997. Summer drought in northern midlatitudes in a time dependent CO₂ experiment. *Journal of Climate* 10(4): 662-686.
- Hansen, J.M., M. Sat, R. Ruedy et al. 1997. Forcing and chaos in interannual to decadal climate change. *Journal of Geophysical Research* 102(D22):25,679-25,720.

- Hengeveld, H.G. 2000. Projections for Canada's Climate Future. CCD 00-01 Special Edition.
http://www.msc-smc.ec.gc.ca/apac/climate/ccsci_e.cfm
- Hengeveld, H.G. 1995. Understanding Atmospheric Change: A Survey of the Background Science and Implications of Climate Change and Ozone Depletion. SOE Report No. 95-02.
- Hofmann et al. 1998. An analysis of 25 years of balloonborne aerosol data in search of a signature of the subsonic commercial aircraft fleet. *Geophysical Research Letters* 25:2433-2436.
- Houghton, J.T. et al. 1995. Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of WGI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Huang, S., H.N. Pollack, P.-Y. Shen. 2000. Temperature Trends over the past five centuries reconstructed from borehole temperatures. *Nature* 403: 756-758.
- Lambert, S.J. 1996. Intense extratropical northern hemisphere winter cyclone events: 1899-1991. *Journal of Geophysical Research* 101: 21,219-21,325.
- Lambert, S.J. 1995. The effect of enhanced greenhouse warming on winter cyclone frequencies and strengths. *Journal of Climate* 8: 1447-1452.
- Lean, J., J. Beer & R. Bradley. 1995. Reconstruction of solar irradiance since 1610: implications for climate change. *Geophysical Research Letters* 22: 3195-3198.
- Mann, M.E., R.S. Bradley & M.K. Hughes. 1999. Northern hemisphere temperatures during the past millennium: inferences, uncertainties and limitation. *Geophysical Research Letters* 26:759-762.
- Mortsch et al. 2000. Climate Change Impacts on the Hydrology of the Great Lakes - St. Lawrence System. *CWRJ* 25(2): 153-170.
- Mortsch, L.D. and F.H. Quinn. 1996. Climate change scenarios for Great Lakes ecosystem studies. *Limnology and Oceanography* 41(5): 903-911.
- Munich Re Group. 2000. Topics 2000: Natural Catastrophes - The Current Position.
(<http://www.munichre.com>)
- Munich Re. 1998. Munich Re's review of natural catastrophes in 1998. December 29, 1998 Press Release. (http://www.munichre.com/press/press/981229_eng.htm)

- Peterson, L. C., Haug, G. H., Hughen, K. A., and Rohl, U. 2000. **Rapid changes in the hydrologic cycle of the tropical Atlantic during the last glacial.** *Science* 290(5498): 1947-1951.
- Petit, J.R., J. Jouzel, D. Raynaud et al. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399: 429-436.
- Rahmstorf, S. 1999. Shifting seas in the greenhouse? *Nature* 399: 523-524.
- Rizzo, B., Environment Canada. 1990. *Personal Communication.* in: Hengeveld, H. 1995. Understanding Atmospheric Change. SOE Report No. 95-02.
- Rodwell, M. J., Rowell, D. P., and Folland, C. K. Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate. *Nature* **398**, 320-323 (1999).
- Rothock, D.A., Y. Yu and G.A. Maykut. 1999. Thinning of the Arctic sea-ice cover. *GRL* 26: 3469-3472.
- Schimel, D.S. 1995. Terrestrial and biogeochemical cycles: global estimates with remote sensing. *Remote Sensing of the Environment* 51(1): 49-56.
- Schmittner, A. & T.F. Stocker. 1999. The Stability of the Thermohaline Circulation in Global Warming Experiments. *J.Climate* 12(4): 1117-1133.
- Shine, K.P., R.G. Derwent, D.J. Weubbles and J.J. Morcrette. 1990. Radiative Forcing of Climate. In *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment.* J.T. Houghton, G.J. Jenkins and J. J. Ephraums, eds. Cambridge University Press, Cambridge.
- Timmerman, A., M. Latif, A. Grotzner, A. and R. Voss. 1999. El Nino frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. *Nature* 398: 694-697.
- Vinnikov, K.Y., A. Robock, R.J. Stouffer *et al.* 1999. Global warming and Northern Hemisphere sea ice extent. *Science* 286: 1934-1937.