



Changements climatiques et événements météorologiques extrêmes



Publié en septembre 2000 par le WWF (Organisation mondiale de protection de la nature), Gland, Suisse. Le WWF reste connu au Canada et aux Etats-Unis sous le nom de *World Wildlife Fund*. Toute reproduction, totale ou partielle, du présent document doit obligatoirement mentionner son titre et désigner le WWF comme détenteur du copyright.

© 2000 WWF. Tous droits réservés.

Publié dans sa version française par le WWF France (www.wwf.fr), le WWF Belgique (www.panda.be) et le WWF Suisse (www.panda.ch). Traduction française assurée par Dominique Buysse.

Changements climatiques et événements météorologiques extrêmes

P. Vellinga et W. J. van Verseveld



**Septembre 2000
WWF**

Table des matières

Avant-propos du WWF	1
1. Introduction et résumé	2
2. Changements climatiques observés	2
2.1 Température	3
2.2 Précipitations	7
2.3 Niveau de la mer	8
2.4 Couverture neigeuse et glaciaire	9
2.5 Courants atmosphériques et océaniques	12
• Circulation atmosphérique	12
• El Niño et l'oscillation nord-atlantique	13
• L'oscillation nord-atlantique	15
2.6 Cyclones (extra-) tropicaux	16
2.7 Changements observés dans les écosystèmes	17
2.8 Evénements météorologiques extrêmes et coût des dégâts	17
3. Changements climatiques à venir : projections	21
3.1 Température	21
3.2 Précipitations	23
3.3 Niveau de la mer	25
3.4 Courants atmosphériques et océaniques	27
• El Niño et l'oscillation nord-atlantique	27
3.5 Cyclones (extra-) tropicaux	28
3.6 Ecosystèmes	28
3.7 Aspects sociaux	29
4. Risques de déstabilisation du climat mondial	31
4.1 La circulation océanique	31
4.2 L'Antarctique	32
4.3 Autres mécanismes de rétroaction peu probables mais potentiellement graves	33
5. Conclusions	34
Sources et références bibliographiques	36

Avant-propos du WWF

Les émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) ne cessent de croître, vu que nous brûlons toujours plus de charbon, de pétrole et de gaz pour satisfaire nos besoins énergétiques. Les risques de déstabilisation du système climatique mondial augmentent de jour en jour. Si nous voulons protéger les écosystèmes et le bien-être de l'humanité, peu de choses sont aujourd'hui plus urgentes que d'éviter les effets catastrophiques du réchauffement de la planète. Le temps ne joue pas en notre faveur.

Les dommages causés par les catastrophes météorologiques représentent déjà un poids financier que peu d'économies peuvent facilement supporter. En Chine, les inondations le long du Chang jiang (Yangzi), en 1998, ont entraîné la mort de 4.000 personnes et des pertes économiques évaluées à 30 milliards de dollars. La même année, en Floride, des conditions météorologiques exceptionnelles ont provoqué une sécheresse sans précédent. D'immenses brasiers ont détruit quelque 1950 km² et 356 biens immeubles, soit une perte économique d'environ 276 millions de dollars. Ce type d'impacts économiques a augmenté de façon spectaculaire au cours des dernières décennies. Se pose dès lors la question de savoir quel genre de catastrophes le réchauffement de la planète pourrait encore nous réservier.

S'il est vrai que les degrés de certitude varient quant aux liens entre les changements climatiques et les événements météorologiques extrêmes, les décideurs devraient toutefois prendre chacun de ces degrés en considération quand ils calculent le coût des changements climatiques. Au rayon des risques figurent notamment : un changement possible des quantités de précipitations, un renforcement du phénomène El Niño, la formation de cyclones tropicaux plus violents, un blanchissement irréversible des coraux, une stagnation de la circulation océanique, ou encore la fonte de la calotte glaciaire de l'Antarctique de l'Ouest. Chacun de ces risques devrait faire l'objet de politiques ciblées au niveau mondial. Les gouvernements et les entreprises qui omettent d'adopter des mesures visant à protéger le climat devraient accepter leur part de responsabilité face aux conséquences de ce genre de catastrophes en réduisant leurs émissions *et* en contribuant à un fonds d'indemnisation.

Les pays industrialisés ne peuvent fermer les yeux devant les menaces du réchauffement de la planète. Représentant environ un quart de la population mondiale, ces pays produisent deux tiers des émissions de CO₂ liées aux besoins énergétiques. Or, ce sont les pays en développement qui souffriront sans doute le plus des effets néfastes du réchauffement. Les inondations dramatiques au Mozambique, qui ont fait des milliers de sans-abri, et le blanchissement récent des récifs coralliens autour de Fidji sont des phénomènes caractéristiques de ce que l'on peut attendre dans un monde plus chaud.

*Jennifer Morgan,
Directrice de la campagne internationale du WWF sur les changements climatiques
Septembre 2000*

1. Introduction et résumé

En tant que chercheurs à l’Institut des Etudes Environnementales, nous avons, à la demande du WWF, évalué les connaissances scientifiques sur les changements climatiques et leurs effets sur le temps météorologique, en accordant une attention particulière aux événements météorologiques extrêmes.

Le rapport publié en 1995 par le Groupe intergouvernemental sur l’évolution du climat (GIEC/IPCC) a été pris comme point de départ. Depuis 1995, de nombreuses autres observations ont été faites, et beaucoup d’autres rapports ont été publiés. La plupart des informations, des observations et des études relatives aux changements climatiques et leurs effets sont accessibles via internet. Dans la mesure du possible, nous avons indiqué les références utilisées de façon à ce que le lecteur puisse aisément vérifier nos sources.

Cette étude aborde principalement trois questions :

Dans quelle mesure peut-on, à l’heure actuelle, mesurer l’impact des activités humaines sur le climat ?

A quoi peut-on s’attendre à court et à long terme ?

Jusqu’à quel point les mesures visant à réduire les émissions nettes de gaz à effet de serre peuvent-elles affecter le climat futur ?

Nous concluons en disant que les effets des émissions de CO₂ et d’autres gaz à effet de serre sur le climat mondial sont de plus en plus perceptibles, notamment au niveau des températures, des précipitations, du niveau de la mer, des courants atmosphériques et des écosystèmes. Dans de nombreuses régions du globe, ces changements se traduisent par une modification de la fréquence et de l’intensité des événements météorologiques extrêmes. En conclusion, nous avons de bonnes raisons de croire, même si ce n’est pas une certitude absolue, qu’à l’heure actuelle, les changements climatiques induits par les activités humaines affectent la distribution géographique, la fréquence et l’intensité des extrêmes météorologiques.

L’étude de la littérature la plus récente consacrée au sujet a été réalisée par Pier Vellinga et Willem van Verseveld, de l’Institut des Etudes Environnementales (IVM) attaché à l’Université Vrije d’Amsterdam. Nous remercions Fons Baeden, de l’Institut Royal Météorologique des Pays-Bas (KNMI), et Jim Bruce, président du Comité Consultatif International du Réseau international pour l’Eau, l’Environnement et la Santé de l’Université des Nations unies (UNU/INWEH) et ex-président du Groupe de travail 3 du Groupe intergouvernemental sur l’évolution du climat (GIEC/IPCC), pour leurs analyses et commentaires. Toutefois, les auteurs assument à eux seuls la responsabilité du présent rapport.

2. Changements climatiques observés

Le climat et la température moyenne à la surface de la terre dépendent du bilan qui s’opère entre l’énergie issue du rayonnement solaire incident (ondes courtes) et l’énergie solaire renvoyée par la surface de la terre (rayonnement infrarouge). Les gaz à effet de serre « piègent » une partie de ce rayonnement infrarouge, ce qui a pour effet de maintenir une température supérieure à celle que l’on aurait sans ce phénomène. La température moyenne à la surface de la terre, qui est d’environ 15°C, serait très largement négative sans cet effet de serre naturel.

La concentration des gaz à effet de serre dans l’atmosphère tels que le dioxyde de carbone, le méthane, l’oxyde nitreux et les CFC, ont augmenté depuis l’ère préindustrielle, et surtout depuis 1960. La concentration de CO₂ est passée de 280 à 360 ppmv (parties par million en volume), celle du méthane, de

700 à 1720 ppmv, et celle d'oxyde nitreux, de 275 à 310 ppmv. Toutes ces augmentations sont clairement dues aux activités humaines liées à la combustion de combustibles fossiles, à l'utilisation des sols et aux processus industriels. Les changements climatiques résultent donc dans une large mesure des activités humaines qui amplifient l'effet de serre naturel.

2.1. Température

Comme l'indiquait le GIEC en 1995, la température moyenne à la surface de la terre a augmenté de 0,3 à 0,6°C au cours des 130 dernières années (cf. Fig.1). Selon une analyse plus récente (Wigley 1999), qui inclut les températures enregistrées jusqu'en 1999, la température moyenne de la planète a augmenté d'environ 0,6°C depuis 1860, date du début des relevés. Un examen plus attentif révèle que la majeure partie de cette hausse des températures est concentrée sur les dernières décennies, où la température moyenne a augmenté d'environ 0,2°C par décennie.

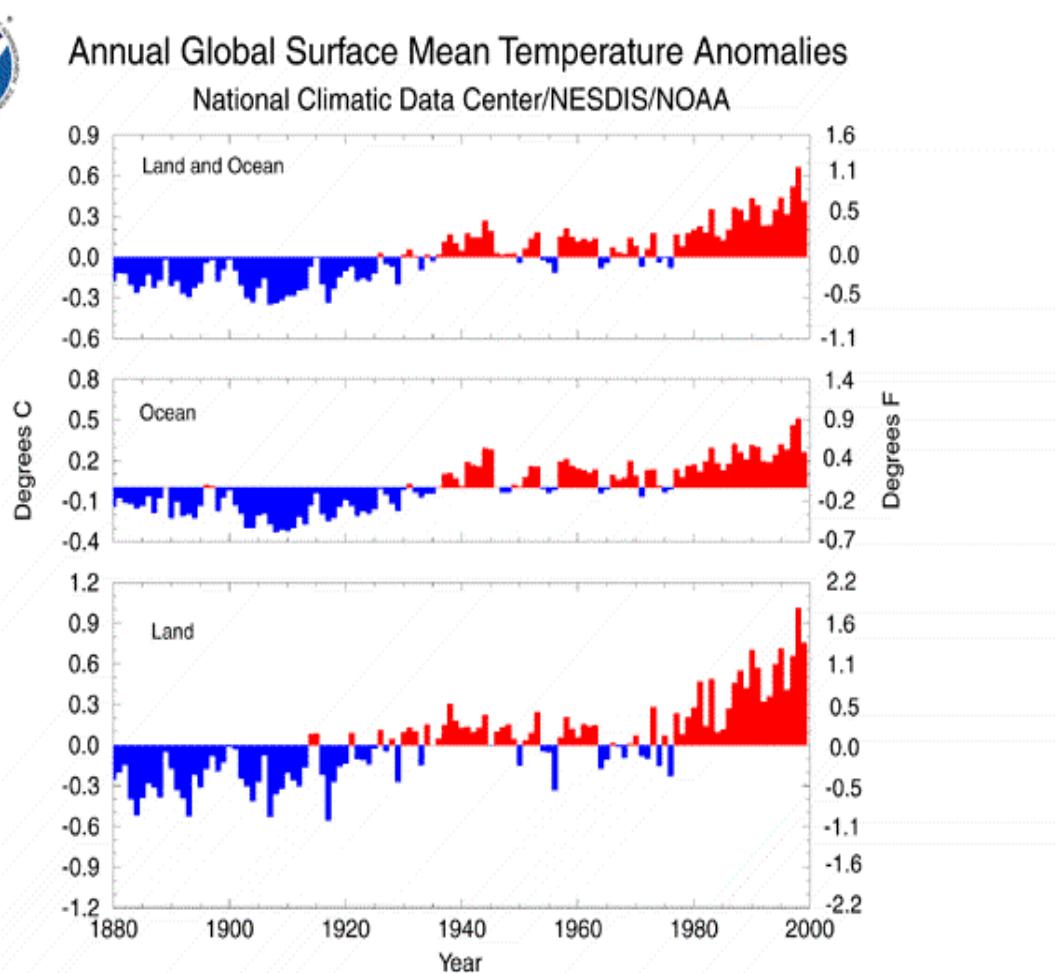


Figure 1. La série chronologique ci-dessus présente les anomalies combinées des températures continentales et océaniques entre 1880 et 1999 par rapport à la période de référence 1880-1998. La plus forte anomalie est apparue en 1998, ce qui fait de cette année la plus chaude depuis la fin du 19^{ème} siècle, période à partir de laquelle on dispose de relevés systématiques de températures. (Source: National Oceanic and Atmospheric Administration, National Climatic Data Centre, Asheville, NC).

Sur la base des archives climatiques, 1998 ressort comme l'année la plus chaude de l'histoire de l'humanité. Les dix années les plus chaudes jamais enregistrées (depuis 120 ans) sont toutes situées après 1981, et les six plus chaudes d'entre elles datent toutes d'après 1990.¹

La Figure 2 présente une reconstruction des anomalies de température dans l'hémisphère Nord au cours du dernier millénaire (Mann et al. 1999). On y relève un lent refroidissement (-0,02°C/siècle) précédent l'industrialisation (peut-être lié au forçage astronomique), qui se mue en réchauffement dans le courant du 20^{ème} siècle. Ce siècle y apparaît comme le plus chaud du millénaire. Bien que les reconstructions de températures dans l'hémisphère Nord avant 1400 restent incertaines, la tendance au réchauffement à la fin du 20^{ème} siècle n'en demeure pas moins apparente. Et l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère est, de loin, l'explication la plus plausible. Ce graphique fait également apparaître 1998 comme l'année la plus chaude du millénaire.

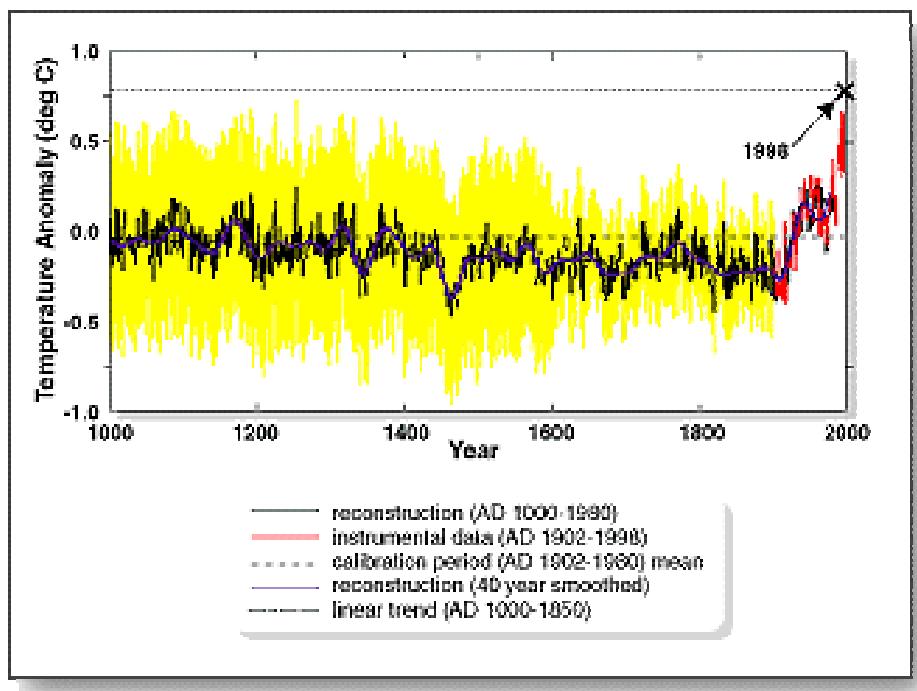


Figure 2. Reconstruction des températures du millénaire dans l'hémisphère Nord (ligne continue). Les données pour la période 1902-1998, obtenues par des instruments de mesure, apparaissent en rouge. Sont également représentés : une courbe adaptée de la série chronologique reconstruite (ligne plus épaisse), la tendance linéaire pour la période 1000-1850 (pointillés), ainsi qu'une représentation des limites de l'écart type pour la période de reconstruction (hachures jaunes). (Copyright: American Geophysical Union). (Mann et al. 1999; voir aussi http://apex.ngdc.noaa.gov/paleo/pubs/mann_99.html).

Des chercheurs du NCDC/NOAA (*National Climate Data Center/National Oceanic and Atmospheric Association*) ont quantifié la variabilité annuelle et inter-décennale du contenu calorifique des eaux océaniques mondiales jusqu'à une profondeur de 3.000 m, pour la période allant de 1948 à 1998 (Levitus et al. 1999) (Figure 3). Le réchauffement le plus important s'observe dans les 300 mètres supérieurs, et

¹ Pour plus d'informations sur l'évolution des températures au cours des 100 dernières années et d'autres données climatiques, voir le site : <http://www.ncdc.noaa.gov/ol/climate/research/1999/ann/ann99.html>.

atteint en moyenne $0,31^{\circ}\text{C}$ ($0,56^{\circ}\text{F}$). Les 3000 mètres supérieurs se sont réchauffés en moyenne de $0,06^{\circ}\text{C}$ ($0,11^{\circ}\text{F}$) au cours des 40 dernières années. L'analyse des données pour les bassins de l'Atlantique, du Pacifique et de l'océan Indien révèle que le Pacifique et l'Atlantique se réchauffent depuis les années 1950, tandis que l'océan Indien se réchauffe depuis les années 60. Ce réchauffement océanique résulte très probablement à la fois de la variabilité naturelle et de facteurs anthropiques.

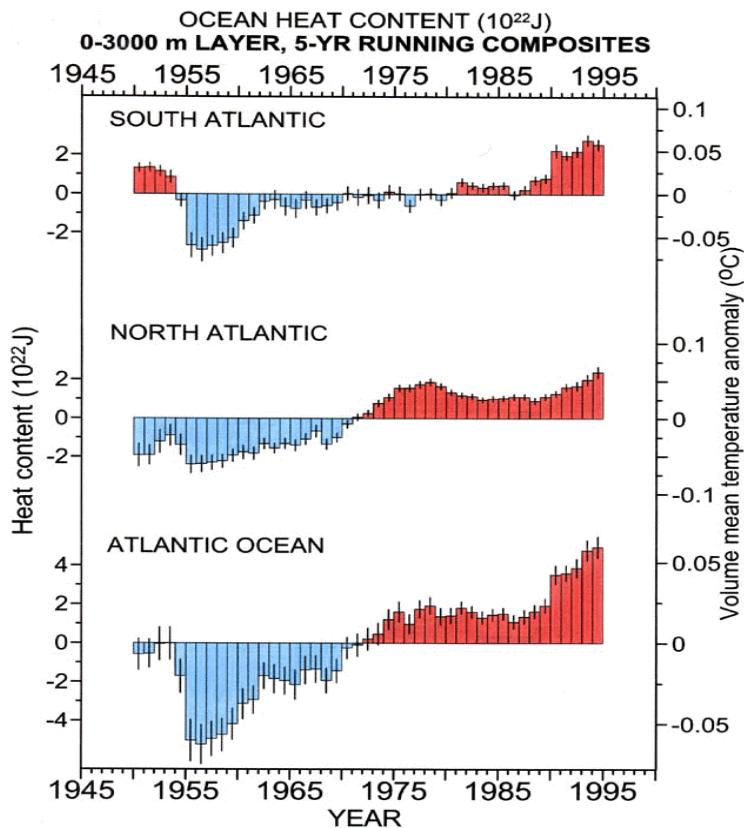


Figure 3. La série chronologique ci-dessus montre l'évolution du contenu calorifique des 3000 mètres supérieurs de l'océan Atlantique (partie sud, partie nord et deux parties confondues) au cours des 40 dernières années. (Copyright: AAAS/Science magazine). ([Http://www.noaanews.noaa.gov/stories/s399.htm](http://www.noaanews.noaa.gov/stories/s399.htm)).

Ces chercheurs ont également découvert que le réchauffement des couches profondes des océans a précédé le réchauffement des couches hydriques et atmosphériques superficielles, qui a commencé dans les années 1970.²

Vu que le climat varie naturellement au fil des décennies et des siècles, l'attribution directe de ces changements de température aux activités humaines est une question complexe.

Toutefois, des observations systématiques indiquent que le réchauffement de la planète et la distribution géographique de ce réchauffement vont au-delà des limites possibles de la variabilité naturelle. Par exemple, Simon Tett et ses collègues du Centre de recherche Hadley sur les prévisions climatiques et du Laboratoire Rutherford Appleton ont simulé les changements de température dans l'espace et dans le temps qui peuvent être imputés à des causes naturelles d'une part (rayonnement solaire et aérosols

² Voir aussi : <http://www.noaanews.noaa.gov/stories/s399.htm>

volcaniques stratosphériques), et aux influences anthropiques d'autre part (gaz à effet de serre et aérosols sulfatés), en utilisant pour ce faire un modèle de circulation générale couplé atmosphère-océan. Ces simulations ont ensuite été comparées aux changements observés.

Les résultats de cette étude indiquent qu'une combinaison de causes naturelles, en particulier une augmentation du forçage solaire, pourrait avoir contribué aux changements de température relevés au début du siècle, mais que le réchauffement observé ces 50 dernières années doit nécessairement être attribué en partie à des facteurs anthropiques si l'on veut expliquer la hausse générale des températures au cours de cette période (Tett et al. 1999). Ceci est confirmé par les analyses statistiques de Tol et Vellinga (1998). Quelle que soit la manière dont on tienne compte de l'influence du soleil dans le modèle statistique, l'accumulation de gaz carbonique et d'autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère influence la température de façon significative. Selon Tol et Vellinga, la sensibilité estimée du climat n'est affectée de façon substantielle que si l'on manipule la longueur du cycle solaire au-delà de toute plausibilité physique.

Dans The Science of Climate Change (1999), Wigley intègre les divers éléments qui contribuent à la hausse de la température moyenne de la terre dans un modèle. Ses conclusions confirment les travaux de modélisation du centre Hadley ainsi que le travail statistique de Tol et Vellinga (cf. Fig.4). Comme le montrent les Figures 1 et 4, la température moyenne de la planète a augmenté rapidement à partir de la fin des années 80.

Toutefois, les changements thermiques ne sont pas répartis uniformément à la surface du globe. A l'heure actuelle, le réchauffement le plus important s'observe entre 40 et 70 degrés de latitude nord. Dans certaines régions, comme par exemple l'Atlantique nord au-delà de 30° N, on a en revanche observé une diminution des températures au cours des dernières décennies (Houghton et al. 1996). En général, les terres se réchauffent plus vite que les océans, vu la beaucoup plus grande capacité thermique de l'eau. De ce fait, les écarts de température entre les océans et les terres se creusent, ce qui a très probablement des effets sur la circulation atmosphérique.

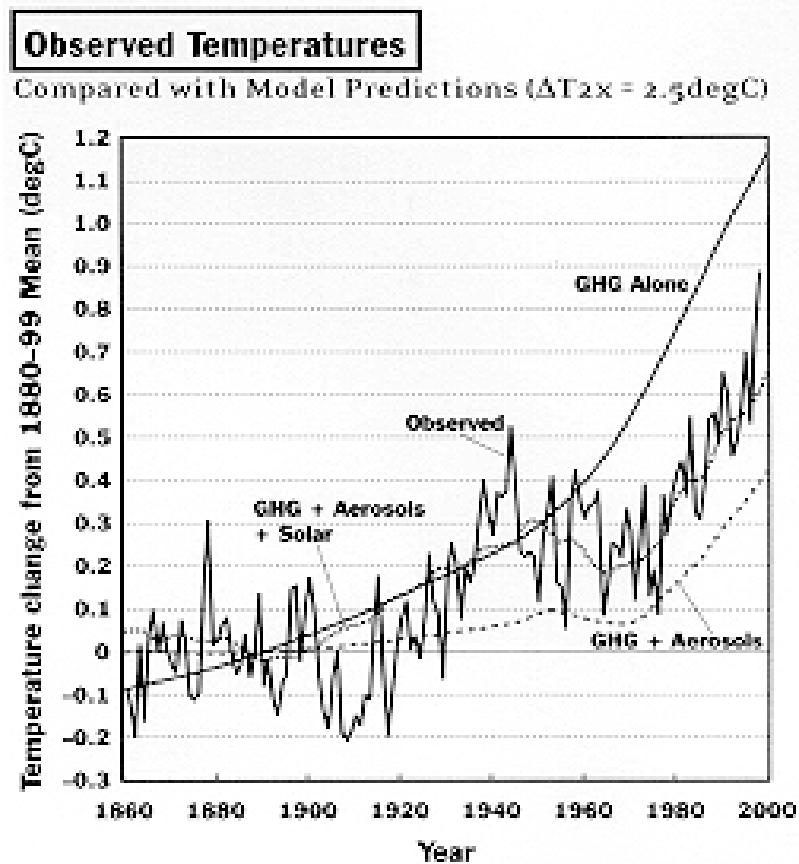


Figure 4. Si l'on considère globalement les effets des émissions de gaz à effet de serre, des aérosols et du forçage solaire (ligne en pointillés), le réchauffement prévu par le modèle est proche du réchauffement observé (fine ligne noire). (Wigley 1999). (Copyright PEW Center on Global Climate Change).

2.2. Précipitations

Une augmentation de la température moyenne à la surface de la terre devrait selon toute vraisemblance entraîner une augmentation de l'évaporation et des précipitations. Il est toutefois difficile de prédire et de mesurer avec précision les changements dans le cycle hydrologique, vu les processus complexes de l'évaporation, des courants atmosphériques et des précipitations, et vu aussi la qualité limitée des données, la brièveté relative des périodes de mesure, et les lacunes dans les séries chronologiques dont nous disposons. En dépit de ces limites, certains changements spécifiques dans les quantités et dans la nature des précipitations ont été observés au cours des dernières décennies.

En général, on note une augmentation des précipitations moyennes entre 30°N et 70°N . Cela vaut également pour la zone située entre 0° et 70° de latitude sud. Par contre, entre 0° et 30° de latitude nord, on observe une baisse générale de la moyenne des précipitations (Houghton et al., 1996).

En plus de ces changements au niveau mondial, on observe également une évolution des précipitations moyennes à l'échelon régional. En Amérique du Nord, les précipitations annuelles ont augmenté (Karl et al. 1993b; Groisman et Easterling 1994). Dans le nord du Canada et en Alaska également, la tendance, depuis 40 ans, va dans le sens d'une augmentation des précipitations (Groisman et Easterling 1994). Les données dont on dispose pour le sud du Canada et le nord des Etats-Unis indiquent une augmentation de 10 à 15% des précipitations (Findlay et al. 1994; Lettenmaier et al. 1994). En Europe, on constate globalement une augmentation des précipitations dans le nord et une diminution dans le sud. Au Sahel, en Afrique de l'Ouest, il y a eu moins de précipitations entre 1960 et 1993 qu'avant 1960 (Houghton et al. 1996).

Différentes analyses des précipitations indiquent que l'intensité des pluies torrentielles a augmenté au cours des décennies précédentes. Aux Etats-Unis, par exemple, les très fortes pluies (au moins 50 mm par jour) représentent actuellement 10% des précipitations annuelles, contre seulement 8% au début du 20^{ème} siècle (Karl et al. 1997). Selon Groisman et al. (1999), même sans changement au niveau de la fréquence des précipitations, les pluies torrentielles peuvent faire varier la moyenne globale des précipitations de 10%. Comme les précipitations moyennes ont effectivement changé, dans les régions où elles sont en augmentation, la part relative des pluies torrentielles devrait être plus élevée. C'est ce que confirment les observations : l'analyse des précipitations aux Etats-Unis (Karl et Knight 1998), dans l'ex-URSS, en Afrique du Sud, en Chine (Groisman et al. 1999) et en Inde (Lal et al. 1999) fait apparaître une augmentation significative des pluies torrentielles.

2.3. Niveau de la mer

Au cours des 100 dernières années, le niveau de la mer s'est élevé en moyenne de 10 à 25 cm. Si l'on peut y voir la continuation de la tendance ininterrompue depuis la dernière glaciation, on s'aperçoit néanmoins que le niveau de la mer monte surtout depuis 50 ans (cf. Fig.5). L'étude de cette élévation du niveau des mers est complexe, vu que les mouvements verticaux des masses continentales sont toujours inclus dans les mesures effectuées, et ce, dans une proportion indéfinie. Cependant, depuis 1990, des méthodes ont été mises au point afin de compenser ces mouvements, si bien qu'aujourd'hui, on peut affirmer avec un haut degré de certitude que le volume des eaux océaniques a bel et bien augmenté.

Il est très probable que l'accélération récente de la montée du niveau de la mer soit liée à la hausse de la température moyenne du globe et des eaux océaniques de surface. On estime que chaque fois que la couche superficielle des océans gagne 0,1°C, l'expansion thermique provoque une montée du niveau de la mer d'environ 1 cm. La hausse observée de 0,6°C de la température de surface des océans explique donc une hausse de 6 cm du niveau de la mer. La fonte et le recul des glaciers et des calottes glaciaires expliquent pour leur part une élévation supplémentaire de 2 à 5 cm.

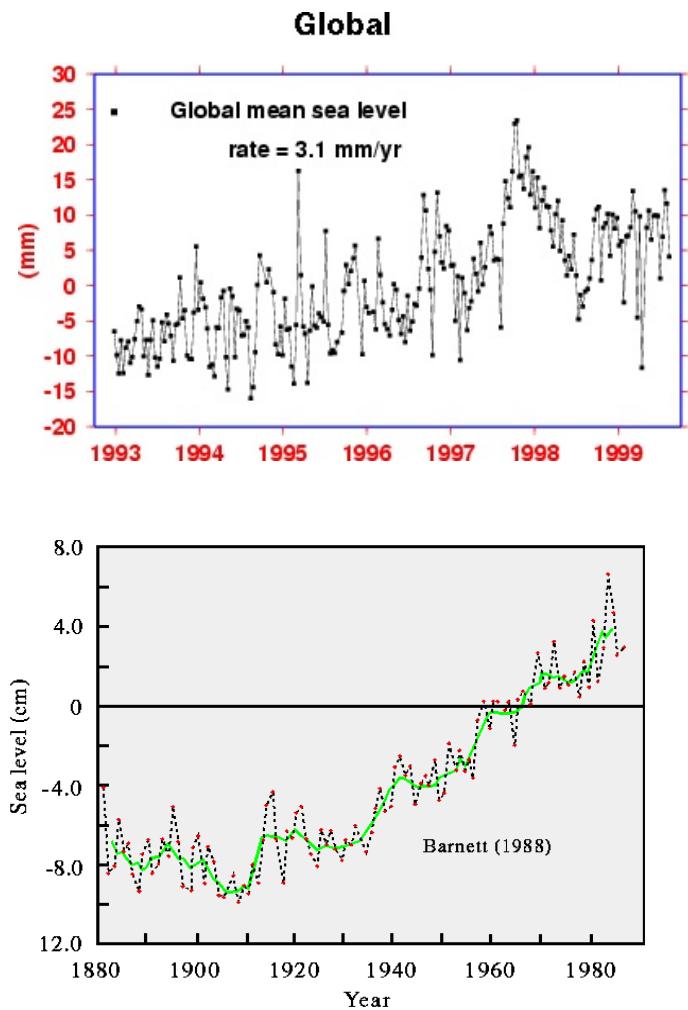


Figure 5. Elévation du niveau de la mer au cours du dernier siècle (en bas) et variabilité du niveau de la mer calculée sur base des données du satellite Topex-Poseidon (au-dessus). (Copyright : Center for Space Research) (<http://www.csr.utexas.edu/gmsl/tptemporal.html>)

2.4. Couverture neigeuse et glaciaire

Partout dans le monde, les glaciers fondent. Au cours du dernier siècle, les glaciers du mont Kenya ont perdu 92% de leur masse, et ceux du Kilimandjaro, 73%. Depuis 1980, le nombre de glaciers en Espagne est passé de 27 à 13. Les glaciers alpins de l'Europe ont perdu environ 50% de leur volume au cours du dernier siècle. A l'autre bout du monde, les glaciers de Nouvelle-Zélande ont perdu 26% de leur volume depuis 1980. En Russie, le Caucase a perdu environ 50% de ses glaces en cent ans.

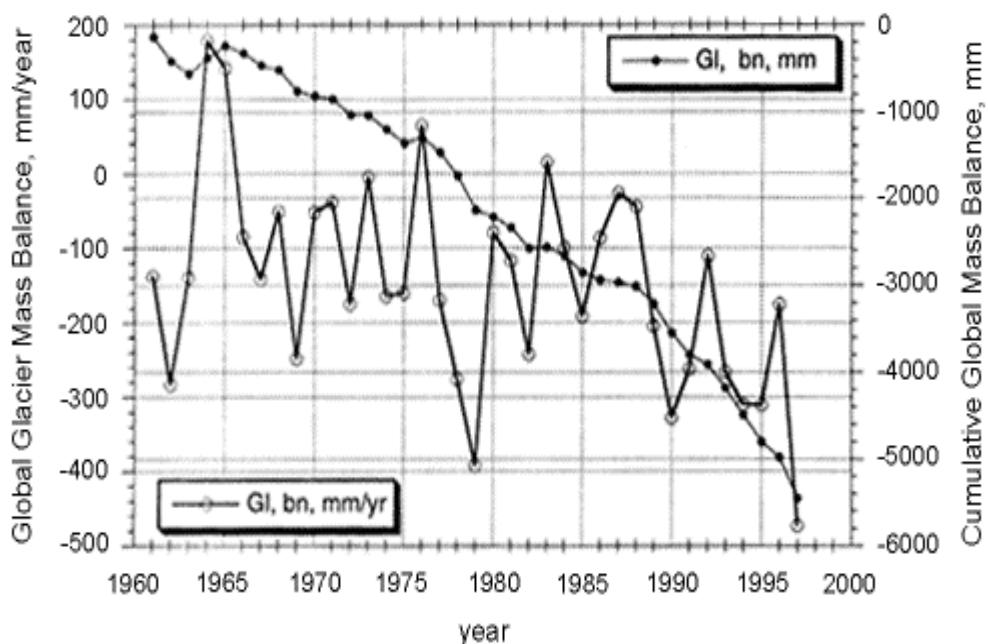
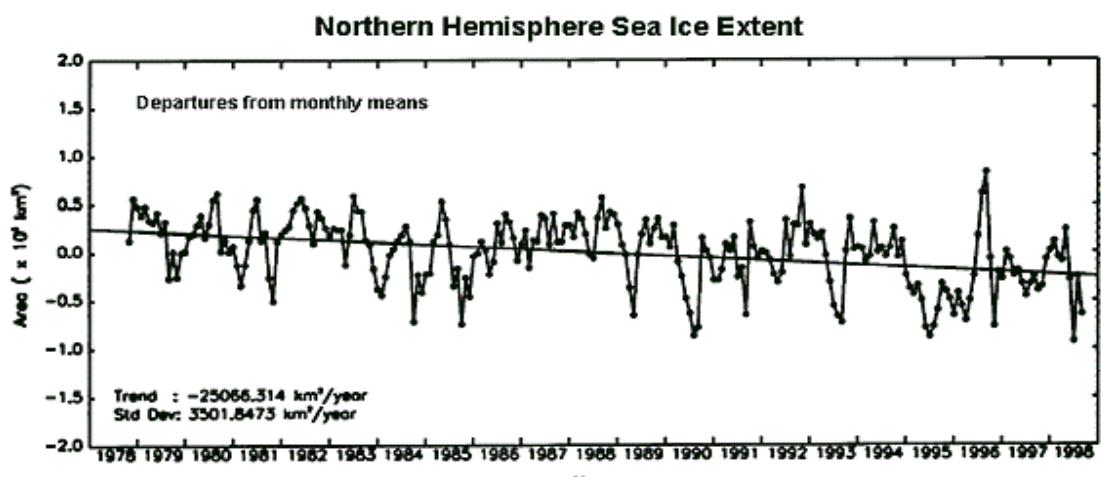


Figure 6. Le graphique ci-dessus indique, d'une part, l'évolution annuelle du bilan de masse des glaciers dans le monde entre 1961 et 1997 et, d'autre part, l'évolution cumulée du bilan de masse au cours de la même période (échelle de 0 à moins 6 mètres). (Copyright: National Snow and Ice Data Center, University of Colorado, Boulder, Etats-Unis).

Les instruments de mesure au laser indiquent que c'est l'Alaska qui a le plus grand nombre de glaciers. Une atmosphère plus chaude en hiver peut en théorie contenir davantage d'humidité, ce qui entraîne une augmentation des chutes de neige (voir aussi le point 2.2 Précipitations). Comme la neige ne fond pas immédiatement, les calottes glaciaires peuvent augmenter de volume. Cependant, cette expansion hivernale n'arrive plus à compenser la fonte engendrée par des étés plus longs et plus chauds. Les glaciers ont diminué tant en volume qu'en surface au cours des 100 dernières années, surtout dans les zones de moyennes et basses latitudes.



Passive microwave-derived (SMMR/SSM/I) sea ice extent departures from monthly means for the N. Hemisphere, 1978-1998.

Figure 7. Série chronologique montrant l'évolution de l'étendue des glaces dans l'hémisphère Nord à partir de 1978. (Copyright: National Snow and Ice Data Center, University of Colorado, Boulder, Etats-Unis).

Vinnikov et al. montrent que l'étendue de la glace de mer dans l'hémisphère Nord a diminué au cours des 46 dernières années. Les modèles du laboratoire GFDL (« *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory* ») et du centre Hadley, qui tiennent tous les deux compte des gaz à effet de serre et des aérosols sulfatés troposphériques, reproduisent de manière réaliste l'évolution effective de l'étendue des glaces marines. Selon ces modèles, la diminution de la surface de la glace de mer peut s'expliquer par la combinaison du réchauffement dû aux gaz à effet de serre et de la variabilité naturelle. Selon ce laboratoire, la probabilité selon laquelle la tendance observée entre 1953 et 1998 (à savoir une diminution de 190.000 km² par décennie) serait causée uniquement par la variabilité naturelle est inférieure à 0,1%. Pour la tendance observée entre 1978 et 1998 (-370.000 km² par décennie), cette probabilité est inférieure à 2%.

D'autres scientifiques rapportent également une régression des glaces marines dans des régions telles que l'hémisphère Nord (1978-1995, cf. Johannessen et al. 1996), l'est de l'océan Arctique et les mers de Kara et de Barents (1979-1986, cf. Parkinson 1992) et les mers à l'est de la Sibérie et celle des Laptev (1979-1995, cf. Maslanik et al. 1996). Parkinson et al. (1999) ont utilisé des données de capteurs micro-ondes passifs montés sur satellite pour la période allant de novembre 1978 à décembre 1996. L'analyse de ces données fait apparaître une tendance générale de régression de la surface de la glace de mer dans l'Arctique (-34.300 ± 3.700 km²/an).

Récemment, des scientifiques du « *Goddard Space Flight Center* » ont combiné les données de télédétection fournies par le « *Scanning Multichannel Microwave Radiometer* » (SMMR) et le « *Special Sensor Microwave/Imager* » (SSM/I), capteurs radiométriques lancés par la NASA en 1978 et 1987 (cf. Fig.7 et 8).³ Les tendances qui se dégagent de ces données font apparaître une réduction nette de la superficie des glaces arctiques d'environ 2,9% par décennie (Cavalieri et al. 1997). De leur côté, Rothrock et al. concluaient, sur la base d'une comparaison de mesures prises lors d'expéditions en sous-marin à deux époques différentes (1993-1997 et 1958-1976), que la calotte glaciaire avait perdu environ 1,3 m d'épaisseur en moyenne. Cet amincissement est plus prononcé à l'est et au centre de l'Arctique que dans les mers de Beaufort et de Chukchi.

³ Pour plus d'informations, voir aussi : <http://gcmd.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/md/>

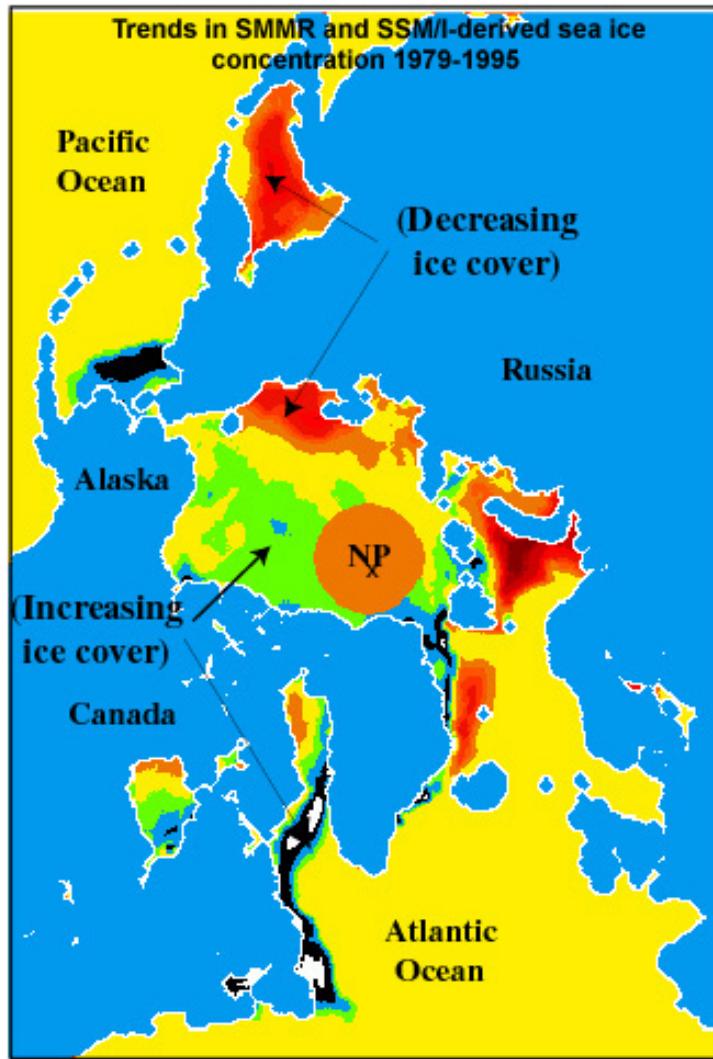


Figure 8. Evolution des glaces marines arctiques entre 1979 et 1995. (Copyright: National Snow and Ice Data Center, University of Colorado, Boulder, Etats-Unis).

Toutes ces tendances et variations récentes au niveau de la couverture et de l'épaisseur des glaces de mer sont en concordance avec les changements observés sous les hautes latitudes en matière de température de l'air, de circulation des vents et de conditions océaniques.

2.5. Courants atmosphériques et océaniques

Circulation atmosphérique

Les surfaces terrestres absorbent moins de chaleur que les surfaces marines. C'est la raison pour laquelle les températures à la surface du sol suivent plus rapidement les augmentations du forçage radiatif que les températures de surface des océans. Cet écart thermique affecte d'une manière ou d'une autre la circulation atmosphérique générale, la distribution, la fréquence et la vitesse des vents, ainsi que la force et les trajectoires des zones de haute et de basse pression.

Une augmentation du nombre de zones de basse pression a été observée dans certaines régions des Etats-Unis, de la côte est de l'Australie et de l'Atlantique nord (Houghton et al. 1996).

Un autre phénomène probablement lié, au moins partiellement, à un changement de la circulation atmosphérique, est la sécheresse relative observée en Afrique du Nord au cours des dernières décennies. La région du Sahel s'est fortement asséchée au cours des 25 dernières années. Cette période de sécheresse constitue le changement le plus substantiel et le plus stable que l'on ait observé au niveau des précipitations depuis que l'on dispose de mesures fiables. Ce phénomène est probablement lié à l'évolution thermique des eaux de surface de l'océan Atlantique. Les températures plus basses enregistrées au sud de l'équateur et celles, plus élevées, observées au nord de l'équateur peuvent être mises en corrélation avec la diminution de la pluviosité au Sahel. Les changements de température de l'eau de l'océan entraînent plus que probablement une modification de la circulation atmosphérique, ce qui a un impact sur la quantité des précipitations au Sahel (Hulme et Kelly.)⁴

Dernièrement, des changements de température ont également été observés dans les couches supérieures de l'atmosphère. Selon les observations, il semble que l'on assiste en ce moment à un refroidissement d'une rapidité sans précédent de la mésosphère, strate atmosphérique située entre 50 et 90 km d'altitude. Selon Gary Thomas (University of Colorado, Boulder), sur les 30 dernières années, ce refroidissement pourrait atteindre 1°C par an. De plus, selon Hans-Friederich Graf, scientifique de renom de l'Institut de météorologie Max Planck à Hambourg, le climat de la stratosphère (la couche située entre 15 et 50 km d'altitude), a également changé au cours des dernières décennies, surtout au-dessus de l'Arctique. Ces observations concordent, dans les principes, avec la théorie des gaz à effet de serre : les gaz à effet de serre réchauffent la troposphère ; la chaleur produite dans les couches inférieures n'arrive pas à se diffuser graduellement vers le haut, et les couches supérieures de l'atmosphère refroidissent. Ce phénomène est connu sous le nom de « refroidissement radiatif ».

Il se peut que d'autres processus que le refroidissement radiatif jouent également un rôle. Shindell et al. (1999) pensent notamment qu'un changement du gradient de température entre les tropiques et les pôles pourrait expliquer le refroidissement assez net de la stratosphère. En effet, le gradient thermique croissant entre les tropiques et les pôles résultant des changements climatiques augmente la force et la vitesse d'un vent hivernal puissant appelé « courant-jet de la nuit polaire ». Ce courant-jet pourrait jouer le rôle d'isolant entre l'air arctique et les masses d'air environnantes. Il se peut aussi que les changements de la circulation atmosphérique causés par l'effet de serre renforcent le phénomène de refroidissement radiatif. Enfin, Gary Thomas, de l'université du Colorado, livre encore une explication complémentaire du refroidissement rapide de la mésosphère. Selon lui, un phénomène de vague à l'échelle planétaire pourrait être responsable de ce refroidissement.⁵

Quoi qu'il en soit, la conclusion que l'on peut tirer est que d'importants changements au niveau de la température et de la circulation atmosphérique sont probablement liés au renforcement de l'effet de serre naturel. Cependant, bon nombre de ces processus restent mal connus, et les données disponibles sont trop limitées pour tirer des conclusions précises.

El Niño et l'oscillation nord-atlantique

Vu l'intensification des recherches consacrées aux changements climatiques et à l'analyse des courants atmosphériques et océaniques, notre compréhension de la variabilité naturelle du climat s'est sensiblement améliorée que ce soit à l'échelle des saisons, des années ou des

⁴ Voir aussi : http://www.uea.ac.uk/menu/acad_depts/env/all/resgroup/cserge

⁵ Voir aussi : <http://www.newscientist.com/ns/19990501/contents.html>

décennies. C'est particulièrement vrai pour les phénomènes ENSO (El Niño Southern Oscillation) et NAO (North Atlantic Oscillation, ou oscillation nord-atlantique), que l'on peu à présent simuler à l'aide de modèles de circulation couplés atmosphère-océan.

Les années sans El Niño, les alizés qui soufflent d'est en ouest au-dessus du Pacifique poussent les eaux chauffées par le soleil tropical vers l'ouest. Les eaux de surface se réchauffent progressivement en raison de leur plus longue exposition au rayonnement solaire. De temps en temps, les alizés faiblissent, et les eaux plus chaudes refluent vers l'est à travers le Pacifique en direction de l'Amérique du Sud. C'est ce qu'on appelle un « épisode El Niño ». El Niño est un phénomène climatique naturel, qui se produit en moyenne tous les sept ans. De grandes sécheresses et de graves inondations, survenant dans différentes régions du globe, sont associées à ce phénomène.

Les épisodes El Niño ont des répercussions considérables sur l'agriculture, les forêts (incendies), les précipitations, les ressources hydriques, la santé humaine et la société en général (Trenberth 1996). Barsugli et al. (1999), par exemple, ont attribué à l'El Niño de 1997-98 certains événements tels que la tempête de verglas de janvier 1998 dans le nord-est des Etats-Unis et le sud-est canadien, ou les pluies torrentielles de février 1998 dans le centre et le sud de la Californie. Par ailleurs, certains signes laissent penser que lorsque le phénomène est accentué, il tombe plus de pluie en Europe le printemps suivant (KNMI 1999).

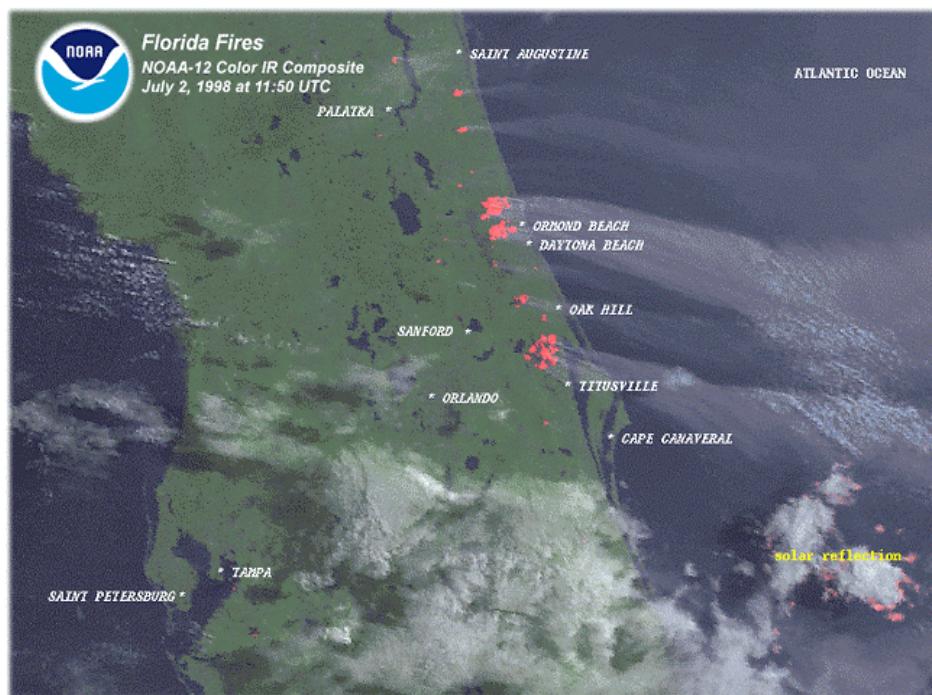


Figure 9. Cette image prise durant l'été 1998 au-dessus de la Floride par un satellite à canaux multiples permet de distinguer de nombreux incendies. Un hiver très doux et très humide associé à des conditions El Niño a stimulé la croissance des broussailles dans les sous-bois. La forte sécheresse qui a suivi à la fin du printemps et au début de l'été, engendrée par une zone de haute pression subtropicale également liée à l'ENSO, a asséché l'étage végétal inférieur à enracinement superficiel, ce qui a favorisé la propagation des feux de broussailles en Floride. (Source: National Oceanic and Atmospheric Administration, National Climatic Data Centre, Asheville, NC).

Depuis 1975, le phénomène El Niño s'est manifesté plus souvent qu'auparavant, et les mesures dont on dispose, qui couvrent les 120 dernières années, indiquent que la durée de l'El Niño de 1990-95 a été la plus longue jamais observée.

Selon Knutson et Manabe (1998), du laboratoire « *Geophysical Fluid Dynamics Lab* » de Princeton, il est peu probable que le réchauffement observé depuis quelques décennies dans l'est du Pacifique tropical puisse résulter de la variabilité naturelle du climat.

Il est plus vraisemblable qu'un forçage thermique soutenu, tel que celui causé par l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, soit au moins partiellement responsable du réchauffement observé sur une vaste région triangulaire de l'océan Pacifique associée à El Niño.

Cela laisserait penser qu'un changement climatique d'origine anthropique pourrait être au moins en partie responsable du caractère relativement extrême des effets météorologiques du phénomène El Niño observés depuis quelques années dans de nombreuses régions du globe.

Oscillation nord-atlantique

Le schéma dominant de la variabilité de la circulation atmosphérique au-dessus de l'Atlantique nord pendant l'hiver est connu sous le nom d'« oscillation nord-atlantique » (NAO). Cette oscillation est alimentée par une différence de pression entre une zone de basse pression centrée sur l'Islande et une zone de haute pression située à proximité des Açores. Un indice NAO positif correspond à des vents d'ouest plus forts que d'ordinaire sur les latitudes moyennes, suite à des anomalies de pression dans les régions citées. Cette phase positive est associée à des hivers plus doux sur l'Europe occidentale et plus rigoureux sur le nord-ouest de l'Atlantique. A quelques rares exceptions près, l'indice NAO est en hausse quasi continue depuis 30 ans, et depuis 1980, sa tendance est largement positive. Ce phénomène explique la température moyenne exceptionnellement élevée ainsi que les nombreuses pluies particulièrement abondantes sur le nord-ouest de l'Europe au cours des dix dernières années.

Cependant, il est impossible d'établir un lien direct entre les changements climatiques et tel ou tel événement extrême en particulier. En termes statistiques, une pluviométrie annuelle dont la probabilité n'est que de 1 sur 1000 reste en effet possible, même dans un climat « stable ».

Selon l'Institut Royal Météorologique des Pays-Bas, l'évolution de la température de surface des océans liée au réchauffement planétaire, et ses effets sur les courants atmosphériques et océaniques, pourraient être partiellement responsables de la tendance positive persistante de l'indice NAO et des hivers chauds et humides qui y sont associés. Toutefois, il n'est pas possible de prouver cette hypothèse vu que la période pour laquelle on dispose de données est trop courte et que les modèles produisent encore des résultats contradictoires (KNMI 1999). Si le KNMI est prudent dans ses conclusions, Corti et al. (1999) indiquent pour leur part que le réchauffement à la surface du globe entraîne bel et bien des changements dans la courbe de fréquence des modes de variabilité climatique existants tels que le NAO. L'oscillation arctique (AO) est l'extension de la NAO à toutes les longitudes. Il existe une corrélation très étroite entre la variabilité de l'AO et celle de la NAO. Selon le modèle de circulation générale (MCG) du « *Goddard Institute for Space Studies* » de la NASA, une grande partie de l'intensification des vents de surface et de la hausse des températures continentales dans l'hémisphère Nord résulte de l'accroissement de l'effet de serre. La comparaison entre différents modèles indique

que les changements qui interviennent à la surface de la terre sont largement alimentés par l'effet des gaz à effet de serre sur la stratosphère (Shindell et al. 1999).⁶

2.6. Cyclones (extra-)tropicaux

Vu l'évolution climatique planétaire, on pourrait s'attendre à des changements dans la fréquence et le comportement des cyclones tropicaux et extra-tropicaux. Ces dix dernières années, il y a eu plusieurs cyclones très violents, comme Andrew, Mitch et Floyd. Toutefois, il y avait déjà eu des séries de cyclones violents auparavant, si bien qu'il n'y a peut-être pas de lien direct avec les changements climatiques. L'analyse des données fiables dont on dispose sur l'activité des cyclones tropicaux révèle une variabilité régionale substantielle et multi-décennale, et on ne dispose pas de preuve claire qui permettrait d'affirmer qu'il existe une tendance à long terme (Henderson-Sellers et al. 1998). De même, selon le groupe WASA (*Waves and Storms in the North Atlantic*), dans la majeure partie du nord-est de l'Atlantique et de la mer du Nord, une partie de la variabilité des vagues et des tempêtes est liée à la NAO et non aux changements climatiques mondiaux (WASA Group 1998). Toutefois, si comme nous l'avons expliqué précédemment, le régime de la NAO est lié à la température de surface de la mer, on peut en déduire qu'une partie des manifestations extrêmes du régime des vagues et des tempêtes est bel et bien liée aux changements climatiques et à l'accroissement de l'effet de serre. Par ailleurs, les anomalies de température des eaux de surface près de l'Indonésie, qui sont liées au phénomène El Niño, pourraient également avoir un impact sur la NAO (KNMI 1999). Si les changements climatiques induits par l'homme sont effectivement responsables du comportement du phénomène ENSO, alors, les changements dans le régime de la NAO sont indirectement liés à l'intensification de l'effet de serre.

L'influence de l'El Niño sur l'activité cyclonique tropicale est plus claire. Par exemple, les événements El Niño engendrent une augmentation de l'activité cyclonique tropicale dans certains bassins tels que la zone centrale du Pacifique nord près de Hawaii, le Pacifique sud et le nord-ouest du Pacifique entre 160°E et la ligne de changement de date (Chan 1985; Chu et Wang 1997; Lander 1994), et une diminution de cette activité dans d'autres bassins tels que l'Atlantique, le nord-ouest du Pacifique à l'ouest de 160°E, et près de l'Australie (Nicholls 1979; Revelle et Goulter 1986; Gray 1984).

Les événements La Niña engendrent des conditions contraires à celles provoquées par El Niño. Pielke et Landsea (1999) ont découvert un lien entre le cycle ENSO et les pertes que subissent les Etats-Unis suite aux ouragans. La probabilité qu'il y ait plus d'un milliard de dollars de dommages causés par des ouragans est de 0,77 durant les années La Niña, de 0,32 pendant les années El Niño, et de 0,48 pendant les années neutres. Il existe un lien étroit entre les températures de l'océan Pacifique et les dégâts occasionnés par les ouragans dans l'Atlantique. Comme une partie au moins de la hausse des températures peut être attribuée à l'accroissement de l'effet de serre, nous en concluons que l'évolution de l'activité cyclonique tropicale résulte au moins en partie des changements climatiques induits par l'homme.

Le lien causal global pourrait être que l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère entraîne une élévation de la température de surface des océans. Comme on l'a dit, il se peut que les changements de température des eaux de surface induits par les changements climatiques et leurs effets sur les courants atmosphériques et océaniques soient responsables en partie du caractère positif persistant de l'indice NAO et des hivers

⁶ Voir aussi : <http://www.giss.nasa.gov/research/intro/shindell.04/index.html>

chauds et humides qui y sont associés. L'intensité de phénomènes de circulation atmosphérique et océanique tels que l'El Niño augmente à mesure qu'augmente la température de surface de la mer. Dans de nombreuses régions du globe, il existe une corrélation positive entre les extrêmes météorologiques et la force du phénomène El Niño. Tout cela n'est certes qu'une hypothèse, mais une hypothèse plausible. Malheureusement, il est difficile de la tester complètement vu que les données dont on dispose couvrent une période trop courte et que les différents modèles ne produisent pas encore des résultats tout à fait identiques lorsqu'il s'agit de simuler des phénomènes de circulation à l'échelle planétaire dans des conditions de forçage radiatif accru.

2.7. Changements observés dans les écosystèmes

Les récifs coralliens reposent sur une association symbiotique entre des algues et des coraux. Le blanchissement des récifs coralliens, causée par des températures anormalement élevées de l'eau de mer, provient d'une diminution de la densité des algues ou de leurs pigments. Des phases de blanchissement des récifs coralliens ont été observées en 1980, 1982, 1987, 1992, 1994 et 1998 dans la Grande Barrière de corail australienne et à de nombreux autres endroits dans le monde. Les cas de blanchissement sont devenus plus fréquents depuis les années 80, et selon le GIEC, cette fréquence accrue concorde avec les hausses de température de l'eau de mer.

Des recherches montrent que les populations de morue de la mer du Nord sont affectées par une réduction du nombre de juvéniles. Selon O'Brien et al., le déclin de la morue n'est pas seulement lié à la surpêche, mais au réchauffement significatif de l'eau de mer au cours des 10 dernières années (O'Brien, C.M. et al. 2000). La surpêche et le réchauffement de l'eau menacent la viabilité à long terme de la morue dans la mer du Nord.

Les insectes, qui sont particulièrement sensibles à la température et aux précipitations, comptent peut-être parmi les meilleurs indicateurs des changements climatiques. Plusieurs chercheurs ont notamment observé des déplacements vers le nord de plusieurs espèces de papillons en Amérique du Nord et en Europe (Parmesan 1996 ; 1999).

Selon des chercheurs de l'Université de Vienne, des plantes alpines ont migré vers des zones de plus haute altitude dans les massifs du centre de l'Autriche et dans l'est de la Suisse. Selon les relevés locaux, la température moyenne aurait augmenté de 0,7°C au cours des 90 dernières années (Grabherr et al. 1994).

Ces études soutiennent l'hypothèse d'un changement en cours. L'imputation de ce changement à l'accroissement de l'effet de serre reste cependant contestée, même si les études montrent que les écosystèmes sont très sensibles aux changements de température.

2.8. Evénements météorologiques extrêmes et coût des dégâts

En marge des débats météorologiques, on constate une augmentation spectaculaire du coût économique des catastrophes météorologiques depuis plusieurs décennies (cf. Fig.10). Certes, l'inflation, la croissance démographique et la croissance de la richesse mondiale sont autant de facteurs qui contribuent à alourdir la note. Ceci dit, Munich Re, une des plus grandes sociétés de réassurance au monde, a comparé les pertes des années 60 à celles des années 90, en faisant

les ajustements nécessaires de manière à neutraliser ces facteurs, et a conclu qu'une grande partie de l'augmentation des pertes économiques était due à des changements dans la fréquence des événements météorologiques exceptionnels (Francis et Hengeveld 1998). Swiss Re (2000a) a pour sa part dressé la liste des 40 sinistres les plus lourds sur le plan financier entre 1970 et 1999, et a constaté que six d'entre eux seulement n'étaient pas liés aux intempéries. Entre 1963 et 1992, sur l'ensemble des catastrophes ayant causé des dommages pour un montant supérieur à 1% du PIB, le nombre de désastres d'origine météorologique a augmenté deux à trois fois plus que le nombre de catastrophes liées à des séismes (Nations unies 1994).

Les conclusions de Swiss Re (1999b) sont que les pertes économiques dues aux catastrophes naturelles ont doublé de 1970 à 1990, compte tenu de l'inflation, de la pénétration des assurances et de ses effets sur les prix, et de l'élévation du niveau de vie. Si le PIB mondial a augmenté en termes réels selon un facteur trois depuis 1960, le montant total des dommages liés au temps météorologique a été quant à lui multiplié par huit.

Grandes catastrophes météorologiques 1950-1999 Pertes économiques et non assurées – Comparaison inter-décennale

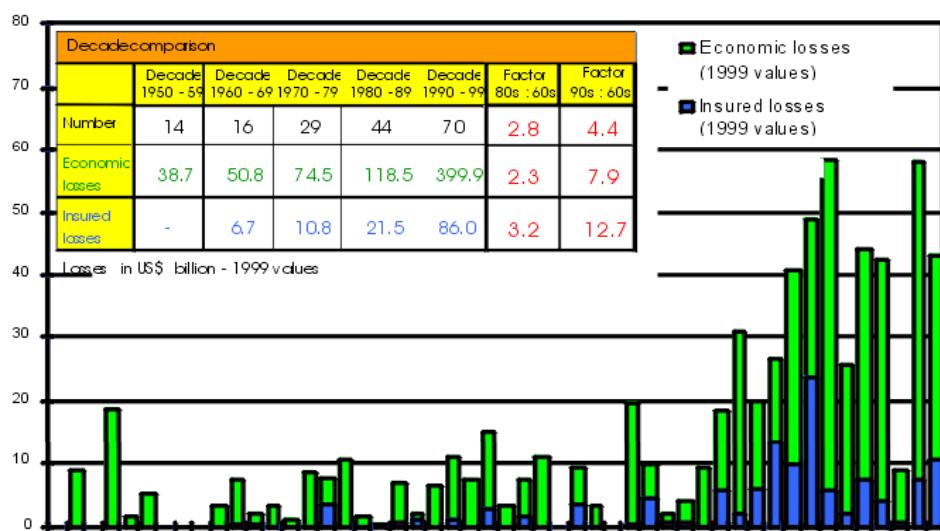


Figure 10. Catastrophes météorologiques majeures 1950-1999 (désastres ayant causé plus de 100 décès et/ou 100 millions de dollars de demandes d'indemnités. (Source: Munich Re 1999b et autres données de Munich Re fournies à la demande des auteurs). (c) Munich Reinsurance Company

Rank	Year	Event	Area	Insured losses (million US\$)	Economic losses (million US\$)
24	1983	Hurricane Alicia	USA	2,200	3,500
8	1987	Winterstorm	Western Europe	4,700	5,600
5	1989	Hurricane Hugo	Caribbean, USA	6,300	12,700
4	1990	Winterstorm Daria	Europe	6,800	9,100
23	1990	Winterstorm Herta	Europe	1,800	2,600
12	1990	Winterstorm Vivian	Europe	2,800	4,400
22	1990	Winterstorm Wiebke	Europe	1,800	3,000
3	1991	Typhoon Mireille	Japan	6,900	12,700
16	1991	Oakland fire	USA	2,200	2,600
1	1992	Hurricane Andrew	USA	20,800	36,600
17	1992	Hurricane Iniki	Hawaii	2,000	3,700
15	1993	Blizzard	USA	2,000	5,800
28	1993	Floods	USA	1,200	18,600
2	1994	Earthquake	USA	17,600	50,600
9	1995	Earthquake	Japan	3,400	112,100
26	1995	Hailstorm	USA	1,300	2,300
19	1995	Hurricane Luis	Caribbean	1,700	2,800
13	1995	Hurricane Opal	USA	1,400	3,400
18	1996	Hurricane Fran	USA	1,800	5,700
25	1998	Ice storm	Canada, USA	1,200	2,600
27	1998	Floods	China	1,050	30,900
21	1998	Hailstorm, Tempest	USA	1,400	1,900
7	1998	Hurricane Georges	Caribbean, USA	3,500	10,300
29	1999	Hailstorm	Australia	1,000	1,500
20	1999	Tornadoes	USA	1,485	2,000
11	1999	Hurricane Floyd	USA	2,200	4,500
14	1999	Earthquake	Taiwan	1,000	14,000
10	1999	Typhoon Bart	Japan	3,000	5,000
6	1999	Winterstorm Lothar	Europe	4,000	7,500
30	1999	Winterstorm Martin	Europe	1,000	2,000

As of 04/00
Figures adjusted for inflation

© Munich Re 2000

Figure 11. Coût des catastrophes naturelles (Munich Re research).

Voici quelques exemples qui illustrent bien l'impact économique des événements météorologiques extrêmes sur la société.

La tempête de verglas dans l'est canadien fut remarquable par sa durée, son étendue et sa force de destruction (Francis et Hengeveld 1998). La quantité de pluie verglaçante tombée en 6 jours fut de 100 mm sur une surface qui s'étendait du centre de l'Ontario à l'île du Prince-Edouard. Avec ses 25 décès et des dommages estimés à 1 ou 2 milliards de dollars, il s'agit de la catastrophe météorologique la plus coûteuse de l'histoire du Canada (cf. Fig.11). En Chine, les inondations le long du Chang jiang (Yangzi), en 1998, ont entraîné la mort de 4.000 personnes et des pertes économiques évaluées à 30 milliards de dollars. Ces inondations ont été

principalement causées par des pluies d'été particulièrement abondantes, mais il est clair que la gestion des bassins versants influence l'impact des chutes de pluie.⁷

Durant la période d'avril à juin 1998, une sécheresse d'une rare intensité a affecté une grande partie de la partie centrale et orientale du sud des Etats-Unis. La Louisiane et la Floride n'ont eu que 150 mm de précipitations, moins que le record précédent de 1895. La sécheresse s'est accompagnée de pics de chaleur records au Texas, en Louisiane, en Arkansas et en Floride (de 2 à 4 degrés au-dessus de la normale). Les immenses incendies qu'a connus la Floride sont l'une des conséquences de ces conditions météorologiques extrêmes. Le 5 juillet 1998, le bilan faisait état de 1950 km² de terres et de 356 immeubles détruits par les flammes, représentant des dommages estimés à quelque 276 millions de dollars (Bell et al. 1999).

⁷ Voir aussi : <http://www.ncdc.noaa.gov/ol/reports/chinaflooding/chinaflooding.htm#sites>

3. Changements climatiques à venir : projections

De nombreuses équipes de chercheurs ont comparé la manière dont le climat réagit en principe à une augmentation des gaz à effet de serre et des aérosols sulfatés à l'évolution effective des températures. De telles études font apparaître une concordance claire entre les changements observés et les prédictions des modèles. C'est ce qui permettait au GIEC de conclure qu'« un faisceau d'éléments suggère qu'il y a une influence perceptible de l'homme sur le climat global » (GIEC 1995). Autrement dit, il est très probable que l'accroissement de l'effet de serre contribue déjà aux changements climatiques observés à travers le monde.

Ces dernières années, la qualité des simulations des climats passés et présents, ainsi que des prévisions à plus court terme de phénomènes tels qu'El Niño, s'est sensiblement améliorée. De ce fait, la confiance dans les prédictions sur l'évolution future du climat se renforce également. Selon Le Treut et McAvaney, il subsiste toutefois un certain nombre de désaccords substantiels entre les modèles basés sur un doublement des concentrations de CO₂ dans l'atmosphère. Ces désaccords concernent les changements attendus au niveau de la température de l'air, de la vapeur d'eau et de la couverture nuageuse, ainsi que la distribution géographique de ces changements.⁸ Il reste difficile de prévoir l'évolution du climat à l'échelle régionale ou locale, vu que la variabilité climatique naturelle peut soit amplifier, soit tempérer les effets des changements climatiques induits par l'homme. Les prévisions à l'échelle régionale sont difficiles vu la complexité du système climatique.

Toutefois, il est possible d'avancer avec un très haut degré de certitude un certain nombre d'hypothèses concernant la température, les précipitations, le niveau de la mer, la circulation atmosphérique, les cyclones et certains écosystèmes. Nous présentons ci-dessous un résumé des principales prospectives issues de la littérature scientifique la plus récente. La possibilité de changements climatiques brusques et relativement imprévisibles est également évoquée.

3.1. Température

Vu la hausse continue des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, on s'attend à ce que la température moyenne à la surface du globe augmente de 1,3 à 4°C d'ici à 2100, selon le scénario choisi et selon les différents modèles climatiques basés sur les scénarios d'émissions les plus récents (cf. Fig.12 et Tableau 1). Ces scénarios préliminaires ont été élaborés dans le cadre de la publication d'un « Rapport spécial sur les scénarios d'émissions » (SRES), vu que les scénarios IS92, mis au point en 1992, avaient, de l'avis général, un certain nombre de limitations (Wigley 1999). La différence la plus frappante entre les scénarios SRES et IS92 concerne les émissions de SO₂, qui sont moindres dans les scénarios SRES. Le Rapport spécial décrit notamment quatre scénarios types (« scénarios marqueurs ») appelés B1, B2, A1, et A2 (Wigley 1999).

⁸ Voir aussi : www.bom.gov.au/bmrc/clch/bma/wgcm_1.html

**Central Temperature Estimates Plus Extremes
for the Preliminary SRES Scenarios**

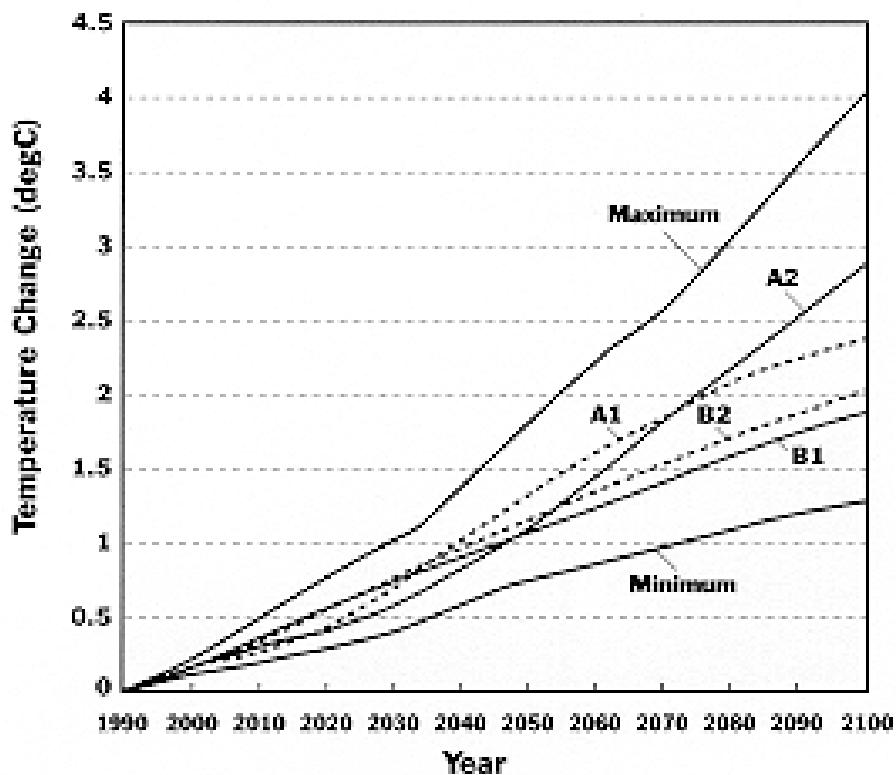


Figure 12. Evolutions possibles de la température moyenne à la surface du globe en fonction de différents scénarios d'émissions. Les valeurs minimales et maximales ont été obtenues sur base de sensibilités différentes de 1,5°C et 4,5°C (Wigley 1999). (Copyright: Pew Center on Global Climate Change).

	Concentration de dioxyde de carbone (ppmv)	Réchauffement moyen (°C)	Elévation du niveau des mers (cm)
B1-bas	2050 479	2080 0,9	2050 13
B2-moyen	492	561 1,5	36 53
A1-moyen	555	646 1,8	39 58
A2-haut	559	721 2,6	68 104

Tableau 1. Changements à l'échelle mondiale causés par les différents scénarios « marqueurs ». L'effet des aérosols n'a pas été pris en compte (Source: Hulme et al. 1999).

La hausse des températures au-dessus des masses continentales dans l'hémisphère Nord devrait être environ deux fois supérieure à la moyenne, soit entre 2,5 et 8°C, tandis que dans l'hémisphère Sud, dominé par les océans, cette hausse devrait se situer sous la moyenne mondiale (GIEC 1995). Vu que les terres émergées ne couvrent qu'une « petite » partie de la surface de la terre, le réchauffement dans ces zones provient bien plus du réchauffement planétaire moyen que des océans de l'hémisphère Sud.

Du fait de l'augmentation de la température moyenne, la probabilité d'avoir des étés très chauds augmentera également de manière substantielle. La Figure 13 illustre cet aspect pour le Royaume-Uni : moyennant une hausse de la température moyenne de 1,6°C, la probabilité que le centre de l'Angleterre connaisse un été très chaud passera de 1,3/100 à 33,3/100 par an.

Increasing Probabilities of Extremes

Example: Summer Temperatures in Central England

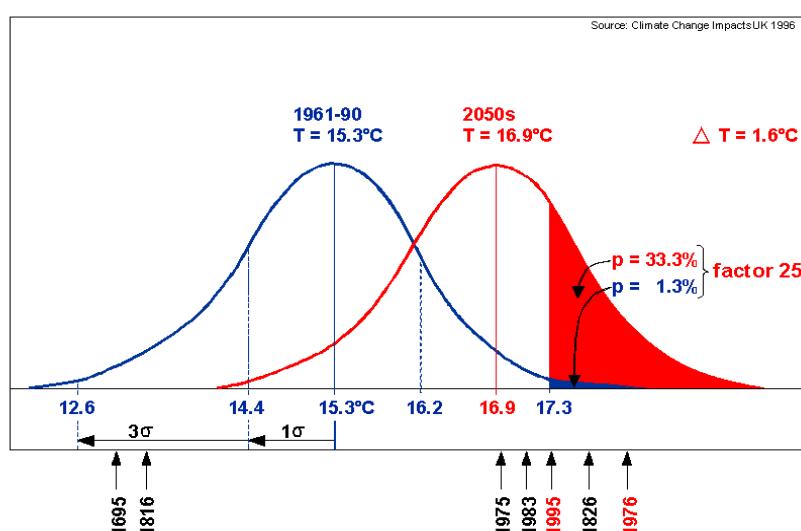


Figure 13. Une évolution mineure de la température estivale moyenne dans le centre de l'Angleterre (+1,6°C) augmenterait substantiellement la probabilité d'avoir un été très chaud. La courbe de gauche est basée sur des archives météorologiques de 300 ans ; celle de droite représente la distribution des températures estivales moyennes en cas de réchauffement moyen de 1,6°C. La probabilité d'avoir un été très chaud au Royaume-Uni passerait ainsi de 1,3/100 à 33,3/100 par an (Source: Fig. 2.4 in CCIRG (1996) Review of the potential effects of climate change in the United Kingdom, Climate Change Impacts Review Group. HMSO, London, 247pp.).

3.2. Précipitations

Presque tous les modèles prévoient que l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre s'accompagnera d'une intensification des précipitations. Dans l'ensemble, le réchauffement des températures donnera plus de vigueur au cycle hydrologique (Houghton et al. 1996). Les précipitations augmenteront de 4 à 20% en moyenne à l'échelle mondiale, mais il faut souligner que les différences d'une région à l'autre seront parfois considérables.

Selon plusieurs chercheurs (Cubasch et al. 1995b; Gregory et Mitchell 1995), la distribution des précipitations quotidiennes pourrait évoluer dans le sens d'une augmentation de la proportion de pluies torrentielles, et il y aurait par ailleurs une augmentation du nombre de

jours sans pluie dans certaines régions. Le nombre de jours sans précipitations pourrait également augmenter là où il y aura une diminution des précipitations moyennes. On pourrait dès lors assister à un allongement des périodes de sécheresse. Par exemple, on estime que la probabilité de connaître une période de sécheresse de 30 jours dans le sud de l'Europe augmentera selon un facteur de 2 à 5 en cas de doublement de la concentration de gaz à effet de serre, tandis que les précipitations moyennes ne diminueraient que de 22% (Houghton et al. 1996).

Dans la plupart des régions d'Europe, on prévoit une augmentation des précipitations hivernales de l'ordre de 1 à 4% par décennie. Pour les étés, on irait vers une différence marquée de la pluviométrie entre le nord et le sud de l'Europe : le sud deviendrait plus sec (jusqu'à 5% en moins de précipitations par décennie), tandis que le nord deviendrait plus humide (jusqu'à +2% par décennie), toujours pour la période estivale.

D'après leurs simulations, Zwiers et Kharin (1998) concluaient pour leur part que lorsque la moyenne des précipitations augmente, la quantité de précipitations liée aux extrêmes augmente encore plus. Par exemple, si l'augmentation moyenne des précipitations est d'environ 4%, les précipitations associées à un événement extrême dont le délai de retour est de 20 ans augmenteraient quant à elles de 11%.

Il faut également s'attendre à ce que l'intensité des précipitations (quantité de pluie par unité de temps) augmente à mesure que la température s'élève (cf. Fig.14). Mais la question de savoir *où* il pleuvra dépend de l'humidité relative, à savoir le rapport entre la concentration de vapeur d'eau et la capacité d'absorption (valeur de saturation) de l'air. Lorsque l'humidité relative atteint 100%, la vapeur d'eau se condense, ce qui rend possible l'une ou l'autre forme de précipitation. D'après les modèles informatiques, la distribution de l'humidité relative devrait à peine changer suite aux changements climatiques. Ce qui changera, lorsque la température augmentera, ce sera l'humidité absolue, c'est-à-dire la concentration de vapeur d'eau dans l'air, au moment où la valeur de saturation sera atteinte (la teneur maximale de l'air en vapeur d'eau augmente de 6% par degré Celsius supplémentaire). Un climat plus chaud n'entraînerait donc pas nécessairement une modification significative de la fréquence des précipitations (nombre de fois où l'humidité relative atteint 100%), mais il entraînera certainement une augmentation de la quantité de précipitations par événement (liée à la quantité d'eau dans l'air au point de saturation).

Trend of extreme winter rainfall in a warmer climate (example: Netherlands)

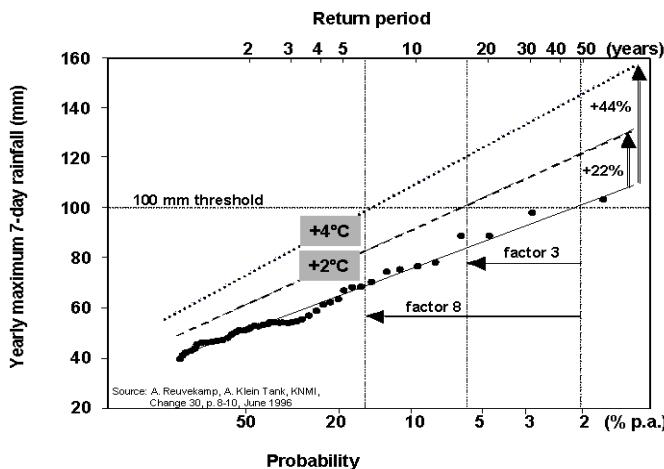


Figure 14. Evolution de la probabilité annuelle de recevoir des précipitations supérieures à 100 mm en l'espace de 7 jours aux Pays-Bas, dans le cas d'une élévation de la température de 2 ou de 4 degrés. (Reuvekamp A, A. Klein Tank, KNMI, Change 30, p. 8-10, June 1996, p. 8-10). (Copyright: KNMI/RIVM).

3.3. Niveau de la mer

Les « meilleures estimations » relatives à la montée du niveau de la mer d'ici à 2100 indiquent une élévation de l'ordre de 46 à 58 cm par rapport au niveau actuel (Wigley, 1999). Ces estimations sont basées sur les meilleures évaluations que l'on puisse faire actuellement de la fonte des neiges et des glaciers et de la sensibilité du système climatique. La manière dont l'augmentation « autonome » du niveau de la mer est intégrée dans les projections affecte également les résultats des modèles climatiques. La fourchette complète de l'élévation du niveau de la mer prévue d'ici à 2100 va de 17 à 99 cm, selon la manière dont on prend en compte les différentes estimations de la fonte de la couverture neigeuse et glaciaire, de l'expansion thermique des océans et de la sensibilité du climat (cf. Fig.15).

Central Sea Level Rise Estimates Plus Extremes
for the Preliminary SRES Scenarios

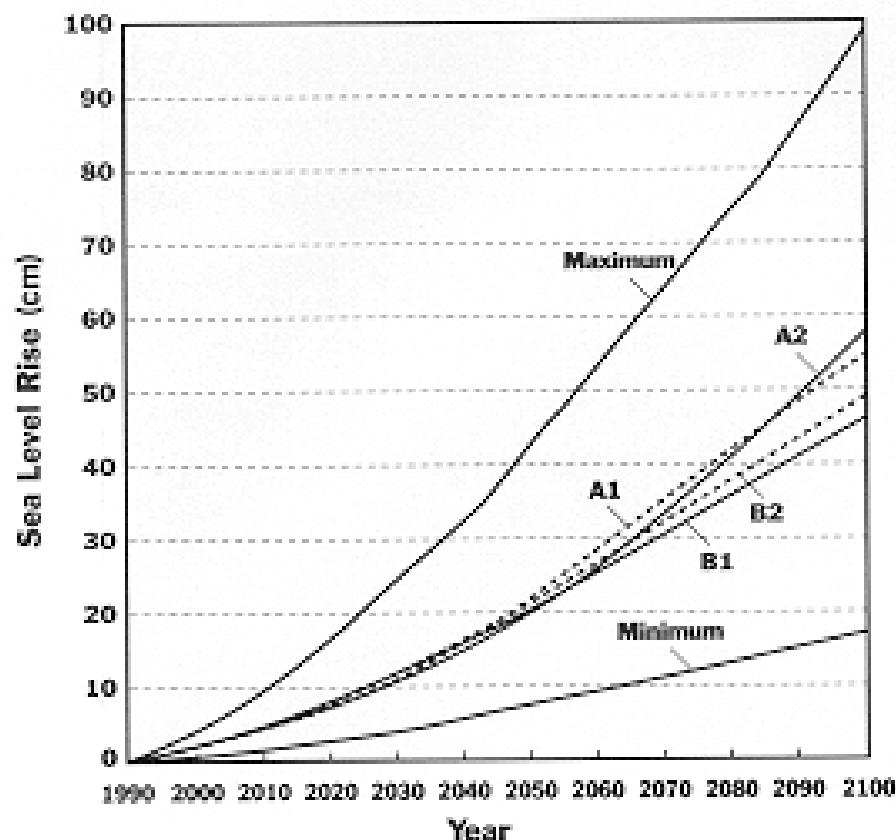


Figure 15. Evolution du niveau moyen des océans selon différents scénarios d'émissions SRES (GIEC). Les valeurs minimales et maximales résultent de l'utilisation de sensibilités différentes de respectivement 1,5°C et 4,5°C et de valeurs basses et élevées pour les paramètres relatifs à la fonte des glaces (Wigley 1999). (Copyright: Pew Center on Global Climate Change).

L'évolution du niveau de la mer ne sera pas uniforme et présentera certaines fluctuations régionales, du fait des différences concernant l'ampleur du réchauffement et les changements de la circulation océanique. L'élévation prévue est principalement le fait de l'expansion thermique des océans. La fonte des calottes glaciaires et des glaciers y contribue dans une moindre mesure, tandis que l'augmentation attendue des chutes de neige sur le Groenland et l'Antarctique aura un effet contraire. A long terme (siècles), cet effet compensatoire diminuera, tandis que la probabilité d'une diminution du volume des glaces augmentera.

Le niveau de la mer continuera à monter pendant plusieurs siècles, même lorsque les concentrations de gaz à effet de serre seront stabilisées. De ce fait, les projections à l'horizon 2300 sont de 2 à 4 fois supérieures à celles pour 2100, ce qui donnerait lieu, selon les meilleures prévisions, à une élévation du niveau de la mer de l'ordre de 50 cm à 2 m d'ici 2300.

3.4. Courants atmosphériques et océaniques

El Niño et l'oscillation nord-atlantique

La plupart des modèles indiquent que le phénomène ENSO (El Niño-Southern Oscillation) gagnera en intensité sous l'effet des concentrations plus élevées de gaz à effet de serre. Il en va de même pour les phénomènes météorologiques qui y sont associés. La hausse moyenne de la température de l'eau des mers tropicales et l'évaporation accrue qui en résulte pourraient renforcer la variabilité des précipitations lors des épisodes El Niño.

Des recherches menées depuis 1996 laissent penser que l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre donnera probablement lieu à des épisodes El Niño plus persistants et/ou plus intenses, et qu'ils seront ponctués par des phénomènes La Niña intenses également. Meehl et Washington (1996) sont parvenus à ces conclusions sur base d'un modèle de circulation générale couplé atmosphère-océan. Boer et al. (1998) évoquent quant à eux, sur base de modèles du CCmaC (Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique), la possibilité d'un réchauffement prononcé du Pacifique oriental tropical « dans le style El Niño ».

La plupart des modèles climatiques mondiaux, y compris ceux évoqués plus haut, ont une résolution trop grossière pour pouvoir simuler réellement le comportement d'un phénomène ENSO dans des conditions de réchauffement provoqué par un effet de serre amplifié. Néanmoins, selon un nouveau modèle doté d'une résolution beaucoup plus fine utilisé par Timmerman et al. (1999), de l'Institut Max Planck de Hambourg, un tel réchauffement entraînerait une augmentation de la fréquence de conditions de type El Niño et l'intensification de périodes froides de type La Niña dans le Pacifique tropical. D'autres modèles évoquent également la multiplication possible de conditions de type El Niño, probablement entrecoupées d'épisodes La Niña plus courts. Cela se traduirait par une augmentation du nombre d'événements typiquement associés aux épisodes El Niño –tels que des pluies torrentielles et de fortes tempêtes entrecoupées de courtes périodes sèches dans certaines régions– et par des sécheresses plus longues ponctuées d'années très pluvieuses dans d'autres régions.

Selon Paeth et al. (1998) ont calculé (avec un niveau de confiance statistique de 95%) qu'une multiplication par quatre des concentrations de CO₂ entraînerait une hausse significative de l'indice NAO moyen, ce qui se traduirait par un climat plus maritime (hivers plus chauds). A l'Institut Max Planck, deux modèles différents réagissent également au réchauffement lié à l'augmentation de l'effet de serre en produisant une hausse de l'indice NAO. En revanche, un modèle du Hadley Centre en Angleterre indique quant à lui une baisse de l'indice NAO dans les mêmes circonstances (KNMI 1999). Enfin, Fyfe et al. (1999) indiquent que le forçage lié aux gaz à effet de serre produit des oscillations arctiques plus positives et donc, des valeurs plus positives pour l'oscillation nord-atlantique.

Les changements climatiques induits par l'homme n'altèrent pas nécessairement les grands axes de la variabilité naturelle, mais ils ont probablement sur celle-ci un impact qui se traduira par des changements de fréquence et/ou d'intensité. Bien que les modèles couplés atmosphère-océan à l'échelle du globe aient fait de nets progrès ces cinq dernières années, la plupart d'entre eux n'ont encore qu'une capacité limitée à rendre compte de la complexité de la variabilité naturelle. C'est pourquoi il est difficile de parvenir à un consensus général sur les rapports entre les changements climatiques, l'évolution de la variabilité météorologique et les événements météorologiques extrêmes.

3.5. Cyclones (extra-)tropicaux

Selon Carnell et Senior (1998), les concentrations croissantes de gaz à effet de serre auraient pour effet de faire baisser le nombre de tempêtes dans l'hémisphère Nord, mais d'en renforcer l'intensité, et ce en raison d'une tendance à l'abaissement des centres de dépression. Le travail de modélisation et les observations de Lambert (1995) vont dans le même sens. Toutefois, une autre étude (Beersma et al. 1997) aboutissait à la conclusion inverse, à savoir une diminution de l'intensité des tempêtes. Pour l'instant, de nombreux modèles soumis au scénario du réchauffement lié aux gaz à effet de serre indiquent des changements dans le comportement des cyclones, mais il n'y a pas encore de consensus entre les différents modèles qui permettrait d'en dégager les caractéristiques précises.

La formation des cyclones tropicaux dépend non seulement de la température des eaux de surface, mais également d'un certain nombre de facteurs atmosphériques. Bien que certains modèles arrivent à simuler les cyclones tropicaux avec un certain réalisme, la compréhension scientifique de leur comportement est insuffisante et ne permet pas encore de prévoir leur évolution future. Le nombre de cyclones tropicaux à l'échelle du globe pourrait rester constant, mais il est probable que l'intensité des plus violents augmente encore.

Les cyclones tropicaux sont étroitement liés au phénomène ENSO (cf. 2.5). La plupart des modèles climatiques prévoient que les conditions de type El Niño vont devenir plus fréquentes, probablement entrecoupées d'événements La Niña plus intenses mais plus courts (cf. 3.4). L'activité des cyclones tropicaux favorisés par les épisodes El Niño va donc probablement s'intensifier.

3.6. Ecosystèmes

Les populations d'espèces, qui font partie des écosystèmes, ne peuvent survivre que si la température et l'eau disponible varient entre certaines valeurs spécifiques. Si ces limites sont dépassées, ces populations sont remplacées par d'autres. Pour certaines espèces (par exemple les arbres), ce remplacement ne peut se faire que lentement. Pour d'autres, la succession peut être rapide. Il est donc probable que les changements climatiques donnent lieu à des déséquilibres et/ou des perturbations des écosystèmes, ce qui se traduira sans doute par des changements abrupts. Les changements climatiques perturberont le fonctionnement de certains écosystèmes, vu que les interactions entre les espèces qui dépendent les unes des autres seront affectées (ce qui pourrait par exemple entraîner des maladies chez les végétaux). De sérieux effets sur la biodiversité, l'agriculture et la société sont donc à prévoir (catastrophes « naturelles », maladies des plantes, etc.). Les quelques exemples présentés ci-dessous permettent de se faire une petite idée de l'impact potentiel des changements climatiques sur certains écosystèmes uniques.

Il est probable que l'on assiste à une augmentation de la fréquence et de l'intensité du processus de blanchissement des coraux. Les résultats fournis par quatre MCG ont été utilisés pour analyser l'effet des changements de température sur les périodes de blanchissement des

récifs coralliens (Hoegh-Guldberg, 1999a). D'ici 20 à 40 ans, de telles périodes pourraient être déclenchées par des changements saisonniers au niveau de la température de l'eau de mer. Ce qui déclenche le processus à l'heure actuelle, ce sont les événements El Niño. A l'avenir, les épisodes de blanchissement pourraient devenir à ce point fréquents que les récifs coralliens n'auraient plus le temps de se rétablir d'un épisode à l'autre.

Selon Fleming et Candau (1997), les changements climatiques auront des conséquences graves pour les forêts canadiennes, avec probablement un plus grand nombre de tempêtes violentes et de dégâts causés par le vent, une augmentation du « stress » dû à la sécheresse, des incendies plus graves et plus fréquents, davantage de nuisances liées aux insectes, et, dans certaines régions, un renforcement de la croissance végétative.

Un réchauffement de 3,0 à 6,4 °C (c.-à-d. la fourchette de températures proposée par différents modèles suite au doublement des concentrations de CO₂ atmosphérique dans la région concernée) pourrait entraîner la disparition de la toundra alpine entre 44° et 57° de latitude nord, mais des populations isolées caractéristiques de ce milieu pourraient se maintenir sous la limite climatique des arbres sous forme d'îlots d'habitats découverts (Delcourt et Delcourt 1998).

Par ailleurs, le réchauffement mondial affectera certainement la plus grande mangrove du monde, à savoir la région des Sundarbans, au Bangladesh et en Inde. La mangrove des Sundarbans est unique au monde de par sa haute diversité biologique et sa valeur économique et environnementale. Une hausse de la température, et donc de la salinité, pourrait nuire à certaines espèces. L'élévation du niveau de la mer provoquera l'immersion d'une partie des Sundarbans, ce qui se traduira par des modifications de l'habitat et par la disparition ou la migration de certaines espèces. Des tempêtes plus fortes et plus fréquentes liées aux changements climatiques pourraient également affecter la flore et la faune des Sundarbans.

3.7. Aspects sociaux

Les impacts sociaux des changements climatiques vont devenir principalement tangibles au travers des changements dans la nature et la fréquence d'événements extrêmes tels que les inondations, les tempêtes, les vagues de chaleur et les sécheresses. Nous voyons sans doute déjà les premiers signes de cette évolution. On ne fait plus autant confiance à la périodicité historique des événements extrêmes, si bien qu'il devient beaucoup plus difficile de prédire leur retour. On peut dès lors craindre des nuisances et des perturbations économiques et sociales considérables, sans parler des pertes en vies humaines.

Ceci dit, les changements climatiques auront également certains effets bénéfiques, tels que de meilleurs rendements agricoles (là où l'eau sera disponible en suffisance), le développement du tourisme et la diminution du coût du chauffage. En revanche, les systèmes de climatisation seront davantage sollicités en été. Les voies de navigation entre certaines masses continentales de l'hémisphère Nord ne sont pas accessibles pour l'instant, alors qu'elles sont beaucoup plus courtes que les voies existantes. Le réchauffement planétaire pourrait rendre ces voies plus accessibles, et donc plus attrayantes sur le plan économique. Les zones agricoles et sylvicoles du Nord pourraient profiter de l'élévation des températures et des concentrations accrues de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Toutefois, il faudra du temps pour tirer parti de cet avantage, étant donné que la société n'est pas préparée à une telle situation. Il faudra par exemple construire de nouvelles infrastructures (routes, canalisations, villes, etc.). La volonté

d'investir et la capacité de profiter de ces avantages dépendront dans une large mesure du degré de certitude que l'on pourra avoir quant à la nature des changements climatiques à venir. Et c'est précisément là le problème : le climat ne sera plus prévisible, en tout cas pas à l'échelon local.

Qui dit changement climatique dit redistribution planétaire de la donne météorologique. Les inconvénients l'emporteront sur les avantages, car la société n'est pas préparée aux surprises météorologiques, et il faut du temps pour s'adapter aux changements et en récolter les bénéfices. En fait, les changements climatiques constituent une source d'incertitudes supplémentaire pour le développement économique, et donc, un facteur de coût additionnel. Et, *last but not least*, la société ne dispose pas à l'échelle planétaire des instruments et des institutions qui permettraient de redistribuer ou de réparer les dommages subis. C'est pourquoi les changements climatiques donneront probablement lieu à de fortes tensions politiques. Mais au-delà de ces risques, il y a encore celui d'une déstabilisation majeure du climat de la terre. C'est le propos du chapitre suivant.

4. Risques de destabilisation du climat mondial

4.1. La circulation océanique

Un risque climatique majeur, très différent de l'élévation graduelle de la température et du niveau de la mer, est la possibilité de changements rapides débouchant sur une sorte de basculement climatique. De tels changements sont peu probables et sont par nature difficiles à prévoir, mais quand ils se produisent, ils ont un impact considérable sur la biosphère.

Parmi les changements rapides qui sont évoqués figure notamment le risque d'une stagnation de la circulation océanique. Cette expression désigne en réalité la circulation thermohaline des océans, dont le moteur est constitué par les différences de densité de l'eau de mer, qui sont elles-mêmes fonction de la température et de la salinité. D'énormes quantités de chaleur sont transportées vers le nord, ce qui fait bénéficier le nord-ouest de l'Europe d'un climat en moyenne 8°C plus chaud que la température moyenne à cette latitude. Dans le nord de l'Atlantique nord, les eaux chaudes et salées de surface refroidissent, s'alourdissent et plongent au fond de l'océan, alimentant ainsi un vaste courant d'eau profonde qui se dirige vers le sud. Une fois dans le sud de l'Atlantique, ce courant longe l'Antarctique avant de remonter vers le nord vers les bassins des océans Indien, Pacifique et Atlantique. Cela peut prendre mille ans avant que de l'eau de l'Atlantique nord se retrouve dans le nord du Pacifique. Les différences de densité de l'eau de mer déterminent la force de cette circulation océanique. Une modification de ces différences résultant des changements climatiques pourrait engendrer un ralentissement, voire une stagnation, de ce gigantesque courant. Dans le cas d'une stagnation pure et simple, le nord-ouest de l'Europe hériterait d'un climat comparable à celui du Labrador ou de la Sibérie, avec plus de 6 mois de couverture neigeuse par an.

Les grands courants marins associés à la circulation thermohaline sont sensibles aux perturbations résultant d'un apport excessif d'eau douce (précipitations, fonte des glaces continentales) dans l'Atlantique nord. Or, les modèles climatiques prévoient une augmentation des précipitations aux latitudes élevées. Suite à cette injection massive d'eau douce, le circulation océanique pourrait s'arrêter d'ici 100 à 300 ans. L'analyse des carottes de glace révèle par ailleurs que dans le passé, les arrêts de cette circulation ont entraîné des chutes thermiques de l'ordre de 7°C. Tant l'analyse des carottes que les modèles laissent penser que cette circulation s'est finalement rétablie, mais seulement après une période de plusieurs centaines à un millier d'années (Broecker 1996).

Depuis les travaux de Broecker de 1996, un certain nombre de simulations ont effectivement mis en évidence un affaiblissement de la circulation thermohaline, sous l'effet du forçage lié à l'effet de serre, avec pour résultat un refroidissement de l'Atlantique nord. Le processus est le suivant : l'augmentation des précipitations aux altitudes élevées entraîne une diminution de la salinité des eaux de surface. Pour l'instant, les descentes d'eaux salines près du Groenland créent un « appel » d'eau chaude vers le nord de l'Atlantique. Mais dans le cas d'une diminution de la salinité dans l'Atlantique nord, ce phénomène diminuerait, et la force de ce courant pourrait décliner. A long terme, cette source de chaleur pour le nord-ouest de l'Europe pourrait disparaître ou s'affaiblir de manière significative.

Wood et ses collègues (1999) ont présenté des projections obtenues sur base d'un modèle climatique qui, pour la première fois, rend compte de façon réaliste des grands courants océaniques. Selon eux, une des deux principales « pompes » responsables de la formation de

l'eau profonde dans l'Atlantique nord pourrait s'arrêter d'ici quelques décennies. Il y a en effet pour l'instant deux grandes zones de convection : les mers du Groenland et du Labrador. La zone de convection de la mer du Labrador pourrait perdre toute activité (Rahmstorf 1999). Comme nous l'avons dit plus haut, un tel arrêt aurait un impact considérable sur la population et les écosystèmes de l'hémisphère Nord, particulièrement en Europe.

4.2. L'Antarctique

Un autre risque peu probable mais à grands effets potentiels concerne l'Antarctique, et plus particulièrement la calotte glaciaire de l'Antarctique de l'Ouest. En effet, une montée du niveau de la mer de 4 à 6 mètres serait possible en cas de fonte de cette calotte glaciaire. Les cassures qui se produisent actuellement dans les plates-formes glaciaires de la péninsule Antarctique sont liées à la hausse moyenne des températures de l'air de surface pendant l'année et durant l'été, et à une prolongation de la durée moyenne de la saison de la fonte des neiges. De ce fait, de plus grandes quantités d'eau s'accumulent en surface, ce qui provoque des dislocations (Scambo et al.).

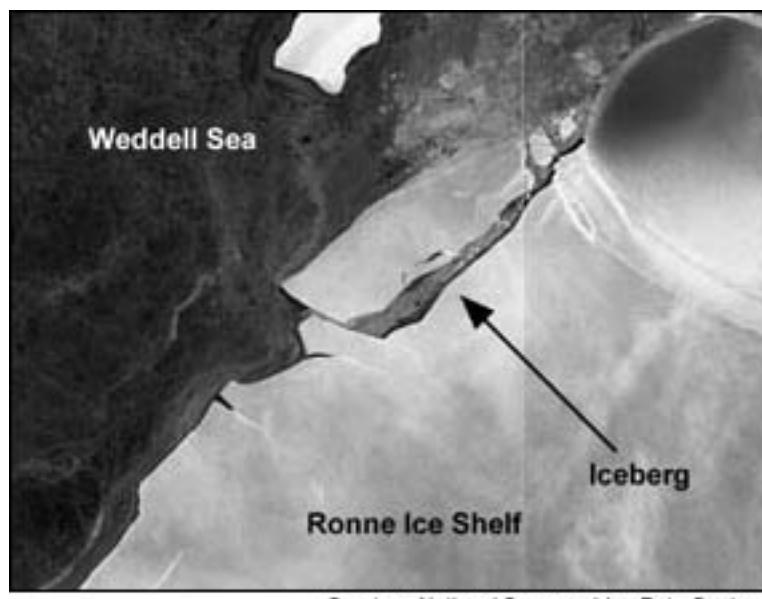


Figure 16. Le 15 octobre 1998, un iceberg d'une superficie équivalente à une fois et demie celle de l'Etat du Delaware se détachait de la plate-forme de glace Ronne, dans l'Antarctique.

La plupart des modèles climatiques prévoient une hausse modeste des températures autour de l'Antarctique dans les 50 années à venir. Durant cette période, l'augmentation des précipitations fera sans doute plus que compenser la fonte accrue des glaces superficielles. Toutefois, après ces 50 ans de réchauffement continu, l'Antarctique pourrait atteindre une température suffisante pour avoir un impact significatif sur des portions particulièrement vulnérables de sa calotte glaciaire.

Les interprétations des changements présents et à venir dans l'Antarctique sont extrêmement complexes et parfois contradictoires.

Quoi qu'il en soit, il est clair que de petits changements dans la calotte glaciaire de l'Antarctique de l'Ouest pourraient provoquer une montée du niveau de la mer de l'ordre de plusieurs mètres. Si les émissions de gaz à effet de serre continuent à augmenter, le scénario le plus probable est que cette calotte glaciaire disparaîtra dans l'océan d'ici 500 à 700 ans, mais on ne peut pas exclure le risque, même si c'est très peu probable, que cela se passe durant les 100 prochaines années. Si tel était le cas, le niveau de la mer pourrait monter brusquement de 4 à 6 mètres.

4.3 Autres mécanismes de rétroaction peu probables mais potentiellement graves

Trois autres mécanismes dont les chances de se produire sont minimes, mais qui auraient de graves conséquences, sont présentés ci-dessous.

Le climat frais et humide de la zone boréale (nord de l'Europe et de l'Asie) a engendré des conditions favorables à l'accumulation de carbone dans les sols. Environ 40% de l'ensemble du carbone stocké dans les forêts se trouve dans cette région du monde. Le réchauffement de la planète pourrait changer cette situation, et entraîner au contraire une libération du carbone, créant ainsi une rétroaction positive. Les sols de la zone boréale représentent un puits de carbone 1,2 à 1,5 fois supérieur à celui de l'atmosphère (Posch et al. 1995).

La hausse de température des océans causée par le réchauffement de la planète pourrait avoir pour effet de réduire la solubilité du dioxyde de carbone, et donc de transformer certains puits régionaux de carbone en sources de gaz carbonique atmosphérique.

La possible interaction entre les changements climatiques et le clathrate de méthane pourrait également renforcer la tendance au réchauffement. Le clathrate est un cristal spécial dans lequel les molécules d'eau forment une sorte de maillage autour de molécules plus volumineuses comme le méthane. Le clathrate de méthane se forme dans les sédiments océaniques sur les pentes immergées des masses continentales. Essentiellement d'origine biologique, le clathrate de méthane est un composé stable sous certaines conditions de température et de profondeur. Sous l'effet du réchauffement, il pourrait toutefois devenir instable, ce qui entraînerait la libération d'énormes quantités de méthane. Un tel phénomène pourrait entraîner une déstabilisation complète du climat actuel. Il faut toutefois préciser que ce modèle est assez spéculatif, vu qu'il est basé sur un certain nombre d'hypothèses qui n'ont pas été vérifiées (Harvey 1994).

Bien que peu probable, une brusque déstabilisation du climat de la terre aurait des conséquences énormes. Vu que le climat est un système très complexe qui reste assez mal connu, il convient d'envisager ce type de phénomènes potentiellement désastreux, même si leur probabilité est faible.

Quoi qu'il en soit, on peut affirmer qu'en règle générale, une réduction des émissions de gaz à effet de serre entraînerait une diminution de l'ampleur et de la vitesse des changements climatiques, ainsi qu'une diminution du risque de déstabilisation du climat mondial.

5. Conclusions

Sur la base d'une analyse systématique des changements ayant affecté la température, la nature et l'intensité des précipitations, le niveau de la mer, les courants océaniques et atmosphériques et le comportement des écosystèmes, on peut raisonnablement conclure que nous percevons aujourd'hui les premiers effets de l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Une partie au moins des changements observés est imputable aux changements climatiques induits par l'homme.

Les changements climatiques s'accompagnent, selon les régions, de changements dans la nature et la fréquence des événements météorologiques extrêmes. Il est logique qu'une modification des valeurs climatiques moyennes ait un impact sur les extrêmes. Les séries récentes d'événements météorologiques exceptionnels doivent donc avoir été influencées par l'élévation des températures moyennes. Ceci implique qu'au moins une partie des dommages causés par ces événements est due aux activités humaines et à leurs effets sur le climat. Nous tirons cette conclusion avec un degré de confiance certain mais non absolu, vu que les changements observés pourraient encore, même si c'est peu probable, être attribués à la variabilité naturelle du climat.

Si l'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère se poursuit, d'autres changements climatiques à l'échelle du globe sont à prévoir. Dans pareil scénario, il faut s'attendre à de nouvelles hausses de la température moyenne du globe, à une augmentation du nombre de pluies diluviales, à une montée substantielle du niveau de la mer, et à un changement de configuration des courants océaniques et atmosphériques, ce qui entraînerait à son tour des changements dans la nature, la fréquence et l'intensité des événements météorologiques extrêmes. Il n'est cependant pas possible à l'heure actuelle de faire des prévisions précises au niveau régional.

Certaines régions pourraient bénéficier du changement climatique, surtout dans le nord, alors que d'autres en pâtiront. En fait, les changements climatiques entraînent une redistribution planétaire de la donne météorologique. Les inconvénients l'emporteront sur les avantages, car les systèmes tant naturels (écosystèmes) que sociaux auront du mal à s'adapter à ces bouleversements. De plus, la société à l'échelle mondiale n'a pas les moyens, ni matériels ni institutionnels, d'indemniser les « perdants » de la nouvelle donne climatique, ce qui pourrait donner lieu à de graves tensions politiques.

En marge des changements climatiques graduels et des dommages sociaux qu'ils causeraient à mesure de leur progression, une menace plus grave encore pèse sur l'avenir de la planète : celle d'une déstabilisation du climat mondial, qui pourrait résulter d'une stagnation de la circulation thermohaline mondiale, de la fonte rapide de la calotte glaciaire de l'Antarctique, ou de la libération de davantage de gaz à effet de serre sous l'effet du réchauffement des océans et/ou des zones de toundra. Ces phénomènes, dont la faible probabilité est inversement proportionnelle aux effets désastreux qu'ils entraîneraient, sont fondamentaux dans le débat sur les changements climatiques et sur les mesures à prendre pour limiter les émissions de gaz à effet de serre.

En conclusion, on peut affirmer qu'une limitation des émissions nettes de gaz à effet de serre permettrait de ralentir le rythme des changements climatiques, et donc de réduire les dommages écologiques et sociaux que l'on peut raisonnablement craindre. Vu l'imprévisibilité de la distribution géographique des effets du réchauffement, et vu les risques majeurs que les changements climatiques représentent pour les sociétés humaines, une stratégie précoce comportant une série de mesures visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre est la seule manière raisonnable de relever le défi du changement climatique.

Sources et références bibliographiques

- Anonymous. 1998. World's glaciers continue to shrink according to new CU-Boulder study. University of Colorado news release, May 26, 1998. (Internet: http://www.colorado.edu/PublicRelations/NewsReleases/1998/Worlds_Glaciers_Continue_To_Sh.html)
- Barsugli, J. J., J. S. Whitaker, A. F. Loughe, P. D. Sardeshmukh, and Z. Toth. 1999. The effect of the 1997/98 El Niño on individual large-scale weather events. Bulletin of the American Meteorological Society 80(7) July 1999.
- Beersma, J. J., E. Kaas, V. V. Kharin, G. J. Komen, and K. M. Rider. 1997. An analysis of extratropical storms in the North Atlantic region as simulated in a control and 2*CO₂ timeslice experiment with a high-resolution atmospheric model. Tellus 48A: 175-196.
- Bell, G. D., A. V. Douglas, M. E. Gelman, M. S. Halpert, V. E. Kousky, and C. F. Ropelewski. Climate change assessment 1998. Printed in May 1999 supplement to Bulletin of the American Society 80(5). (Internet: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/produkys/assessments/assess_98/index.html)
- Boer, G. J., G. Flato, and D. Ramsden. 1998. A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: projected climate for the 21st century. Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis, Victoria B.C., in press.
- Broecker, W. S. 1996. Climate implications of abrupt changaz à effet de serre in ocean circulation. U.S. Global Change Research Program Second Monday Seminar Series. (Internet: <http://www.usgcrp.gov/usgcrp/960123SM.html>)
- Carnell, R. E., and C. A. Senior. 1998. Changaz à effet de serre in mid-latitude variability due to increasing greenhouse gases and sulphate aerosols. Climate Dynamics 14:369-383.
- Cavalieri, D. J., P. Gloersen, C. L. Parkinson, J. C. Comiso, and H. J. Zwally. 1997. Observed hemispheric asymmetry in global sea ice changaz à effet de serre. Science 278:1104-06.
- Chan, J. C. L. 1985. Tropical cyclone activity in the Northwest Pacific in relation to the El Niño/Southern Oscillation phenomenon. Mon. Wea. Rev. 113:599-606.
- Chu, P., and J. Wang. 1997. Tropical cyclone occurrences in the vicinity of Hawaii: are the differences between El Niño and non-El Niño years significant? J. Climate 10:2683-2689.
- Corti, S., F. Molteni, and T. N. Palmer. 1999. Signature of recent climate change in frequencies of natural atmospheric circulation regimes. Nature 398:799-802.
- Cubasch, U., G. Waszkewitz, Hegerl, and J. Perlwitz. 1995b. Regional climate changaz à effet de serre as simulated in time slice experiments. MPI Report 153. Clim. Change 31:321-304.
- DeAngelo , B. J., J. Harte, D. A. Lashof, and R. S. Saleska. 1997. Terrestrial ecosystems feedbacks to global climate change. In: Annual review of energy and the environment, 1997 ed., vol. 22.

Delcourt, P. A., and H. R. Delcourt. 1998. Paleooecological insights on conservation of biodiversity: a focus on species, ecosystems, and landscapes. *Ecological Applications* 8:921-934.

Doake, C. S. M., and D. G. Vaughan. 1991. Rapid disintegration of Wordie ice shelf in response to atmospheric warming. *Nature* 350(6316):328-330.

Epstein, P. R. 1996. Global climate change. From an Abstract of Remarks by Scientists at the National Press Club, Washington, D.C. Newsletter 1(1), Nov. 3, 1996.

Feely, R. A., R. Wanninkhof, T. Takahashi, and P. Tans. 1999. Influence of El Niño on the equatorial Pacific contribution to atmospheric CO₂ accumulation. *Nature* 398. April 15, 1999.

Findlay, B. F., D. W. Gullet, L. Malone, J. Reycraft, W. R. Skinner, L. Vincent, and R. Whitewood. 1994. Canadian national and regional standardized annual precipitation departures. In: Trends '93: A compendium of data on global change, T. A. Boden, D. P. Kaiser, P. J. Sepanski, and F. W. Stoss (eds.). ORNL/CDIAC-65, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, U.S.A, pp. 800-828.

Fleming, R. A., and J-N. Candau. 1997. Influences of climatic change on some ecological processes of an insect outbreak system in Canada's boreal forests and the implications for biodiversity. *Environ. Monitoring & Assessment*, 49:235-249.

Francis, D., and H. Hengeveld. 1998. Extreme weather and climate change. ISBN 0-662-268490. Climate and Water Products Division, Atmospheric Environment Service, Ontario, Canada.

Fyfe, J.C, Boer, G.J., Flato, G.M. (1999), Climate studies-the Arctic and Antarctic Oscillations and their projected changaz à effet de serre under global warming, *Geophysical research Letters*, Vol. 26 (Issue 11), 1999, 1601-1604 (4)

Grabherr, G., M. Gottfried, and H. Pauli. 1994. Climate effects on mountains plants. *Nature* 369(6480), 9 June 1994.

Gray, W. M. 1984. Atlantic seasonal hurricane frequency. Part II: forecasting its variability. *Mon. Wea. Rev.* 112:1669-1683.

Gregory, J. M., and J. F. B. Mitchell. 1995. Simulation of daily variability of surface temperature and precipitation over Europe in the current 2 x CO₂ climates using the UKMO climate model. *Quart. J. R. Met. Soc.* 121:1451-1476.

Groisman, P. Ya, T. R. Karl, D. R. Easterling, R. W. Knight, P. B. Jamason, K. J. Hennessy, R. Suppiah, Ch. M. Page, J. Wibig, K. Fortuniak, V. N. Razuvvaev, A. Douglas, E. Forland, and P.M. Zhai. 1999. Changaz à effet de serre in the probability of heavy precipitation: important indicators of climatic change. *Climatic Change* 42(1):243-283.

Groisman, P. Ya, and D. R. Easterling. 1994. Variability and trends of precipitation and snowfall over the United States and Canada. *J. Climate* 7:184-205.

Harvey, D. 1994. Potential feedback between climate and methane clathrate. University of Toronto, Department of Geography, Toronto, Ontario, Canada.
(Internet: <http://harvey.geog.utoronto.ca:8080/harvey/index.html>)

Henderson-Sellers, A., H. Zhang, G. Berz, K. Emanuel, W. Gray, C. Landsea, G. Holland, J. Lighthill, S-L. Shieh, P. Webster, and K. McGuffie. 1998. Tropical cyclones and global climate change: a post IPCC assessment. *Bulletin of the American Society* 79(1), January 1998.

Hindmarsh, R. C. A. 1993. Qualitative dynamics of marine ice sheets. *NATO ASI Series I* 12, pp. 68-69.

Hoegh-Guldberg, O. 1999a. Climate change coral bleaching and the future of the world's coral reefs. Greenpeace, Sydney, Australia.

Houghton, J. T., L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell. 1996. Climate change 1995, the science of climate change, contribution of working group 1 to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, 1995. (See also IPCC, 1995, Cambridge University Press)

Hulme, M., and M. Kelly. 1993. Climate change, desertification and desiccation, with particular emphasis on the African Sahel. Climatic Research Unit, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, United Kingdom, GEC93-17, p. 37. (Internet: http://www.uea.ac.uk/menu/acad_depts/env/all/resgroup/cserge/)

Hulme, M., Sheard, N., Markham, A. (1999) Global Climate Change Scenarios, Climatic Research Unit, Norwich, UK, 2pp.

IPCC. 1995. Climate change 1995: the science of climate change. Cambridge University Press. (See also Houghton et al., 1995)

Johannessen, O. M., M. W. Miles, and E. Bjorgo. 1996. Global sea-ice monitoring from microwave satellites. *Proc. 1996 IGARSS*, 932-934.

Karl, T. R., P. Y. Groisman, R. W. Knight, and R. R. Heim, Jr. 1993b. Recent variations of snowcover and snowfall in North America and their relation to precipitation and temperature variations. *J. Climate* 7:1144-1163.

Karl, T. R., R. W. Knight, D. R. Easterling, and R. G. Quayle. 1995. Trends in U.S. climate during the twentieth century. *Consequences* 1:2-12.

Karl, T. R., and R. W. Knight. 1998. Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the USA. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 79:231-241.

Karl, T. R., R. W. Knight, and N. Plummer. 1995. Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century. *Nature* 377:217-220.

Karl, T. R., N. N. Nicholls, and J. Gregory. 1997. The coming climate: meteorological records and computer models permit insights into some of the broad weather patterns of a warmer world. *Scientific American*, May 1997.

(Internet: <http://www.sciam.com/0597issue/0597karl.html>)

Khain, A., and I. Ginis. 1991. The mutual response of a moving tropical cyclone and the ocean. *Beitr. Phys. Atmosph.* 64:125-141.

KNMI. 1999. De toestand van het klimaat in Nederland 1999 (in Dutch). (Internet: <http://www.knmi.nl/voorl/nader/klim/klimaatrapportage.html>)

Knutson, T. R., and S. Manabe. 1998. Model assessment of decadal variability and trends in the tropical Pacific Ocean. *Journal of Climate*, September 1998.

Lal, M., S. K. Singh, and A. Kumar. 1999. Global warming and monsoon climate. In: Proceedings of the Workshop on Climate Change and Perspective for Agriculture, November 20-21, 1998. S.K. Sinha, ed. National Academy of Agricultural Sciences, New Delhi.

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

Lander, M. 1994. An exploratory analysis of the relationship between tropical storm formation in the Western North Pacific and ENSO. *Mon. Wea. Rev.* 114:1138-1145.

Lettenmaier, D., E. F. Wood, and J. R. Wallis. 1994. Hydroclimatological trends in the continental United States, 1948-88. *J. Climate* 7:586-607.

Levitus, S., J. I. Antonov, T. P. Boyer, and C. Stephens. 2000. Warming of the world ocean. *Science* 287, March 24, 2000.

Mann, M. E., B. S. Bradley, and M. K. Hughes. 1999. Northern Hemisphere temperatures during the past millennium: inferences, uncertainties, and limitations. *Geophysical Research Letters* 26(6):759-762.

Maslanik, J. A., M. C. Serreze, and R. B. Barry. 1996. Recent decreases in Arctic summer ice cover and linkagaz à effet de serre to atmospheric anomalies. *Geophysical Research Letters* 23:1677-1680.

Meehl, G. A. and W. M. Washington. 1996. El Niño-like climate change in a model with increased atmospheric CO₂ concentrations. *Nature* 382.

Münich Re (1999) Topics – Annual Review of Natural Catastrophes 1990. München Re, München.

Münich Re (1999) Topics 2000: Natural Catastrophes – The Current Position München Reinsurance Group Geoscience Research Group. München, Germany, Report 2895-m-e.

Münich Re (2000) M R Natural Catastrophes Service: Significant Natural Disasters in 1999.

Nicholls, N. 1997. A possible method for predicting seasonal tropical cyclone activity in the Australian region. *Mon. Wea. Rev.* 107:1221-1224.

NOAA Internet site: <http://www.ncdc.noaa.gov/o1/climate/research/1998/ann/ann98.html>

O' Brien, C. M., C. J. Fox, B. Planque, and J. Casey. 2000. Fisheries: climate variability and North Sea cod. *Nature* 404:142. March 9, 2000.

Paeth, H., Hense, A., Glowienka-Hense, A., Voss, S., Cubasch, U., (1999) The North Atlantic Oscillation as an indicator for greenhouse-gas induced regional climate change, Climate Dynamics: observational, theoretical and computational research on the climate system, Vol. 15 (Issue 12), 1999, 953

Parkinson, C. L., D. J. Cavalieri, P. Gloersen, H. J. Zwally, and J. C. Comiso. 1999. Arctic sea ice extents, areas, and trends, 1978-1996. *Journal of Geophysical Research* 104(C9):20, 837-20, 856. September 15, 1999.

Parkinson, C. 1992. Spatial patterns of increases and decreases in the length of the sea-ice season in the north polar region, 1979-1986. *Journal of Geophysical Research* 97(14):388.

Parmesan, C. 1996. Climate change and species range. *Nature* 382:765-766.

Parmesan, C., Ryrholm, N., Stefanescu C., Hill, J.K., Thomas, C.D., Descimon[^{num}] H., Huntley, B., Kaila, L., Kullberg, J., Tammaru, T., Tennent, W.J., Thomas, J.A., Warren, M., (1999) Poleward shifts in geographical rangaz à effet de serre of butterfly species associated with regional warming, *Nature*, Volume 399, Number 6736, Page 579 – 583, 1999

Pielke, R. A., and C. W. Landsea. 1999. La Niña, El Niño, and Atlantic hurricane damage à effet de serre in the United States. Submitted to *Bulletin of the American Meteorological Society*, 6 April 1999. (Internet: <http://www.aoml.noaa.gov/hrd/LandSea/lanina/index.html>)

Posch, M., P. Tamminen, M. Starr, and P. E. Kauppi. 1995. Climatic warming and carbon storage in boreal soils. RIVM, the Netherlands.

Rahmstorf, S. 1999. Shifting seas in the greenhouse? *Nature* 399. June 10, 1999.

Rahmstorf, S., and A. Ganopolski. 1999. Long-term global warming scenarios computed with an efficient coupled climate model. *Climatic Change* 43(2):353-367.

Reuvekamp, A., A. Klein Tank, KNMI, Change, June 1996, p 8-10, 'The Netherlands' Revelle, C. G., and S. W. Goulter. 1986. South Pacific tropical cyclones and the Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.* 114:1138-1145.

Rothrock, D. A., Y. Yu, and G. A. Maykut. Thinning of the arctic sea-ice cover. *Geophysical Research Letters* 26(23). December 1, 1999.

Scambos, T.A., Kvaran, G., Fahnestock, M.A., Improving AVVHR resolution through data cumulation for mapping polar ice sheets, *Remote Sensing of Environments: an interdisciplinary journal*, Vol. 69 (Issue 1), 1999, 56-66 (11)

Simon F.B. Tett, Peter A. Stott, Myles R. Allen, William J. Ingham & John F.B. Mitchell (1999), Causes

Shindell, D. T., R. L. Miller, G. A. Schmidt, and L. Pandolfo. 1999. Simulation of recent northern winter climate trends by greenhouse gas forcing. *Nature* 399:452-455.

Swiss Re. 1999b. World insurance in 1998. Sigma 7 Swiss Reinsurance Company, Zurich. (Internet: <http://www.swissre.com/e/publications/publications/sigmal/sigma9907.html>)

Swiss Re. 2000a. Natural catastrophes and man-made disasters in 1999. Sigma Report No. 2/2000. Swiss Re, Zurich.

Tett, S. F. B., P. A. Stott, M. R. Allen, W. J. Ingham, and J. F. B. Mitchell. 1999. Causes of twentieth-century temperature change near the Earth's surface, *Nature*, Vol. 399, 10 June 1999.

Timmerman, A., J. Oberhuber, A. Bacher, M. Esch, M. Latif, and E. Roeckner. 1999. Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. *Nature* 398. April 22, 1999.

Tol, R., and P. Vellinga. 1998. Climate change, the enhanced greenhouse effect and the influence of the sun: a statistical analysis. *Theoretical and Applied Climatology* 61:1-7.

Trenberth, K. E. 1996. Global climate change. From an Abstract of Remarks by Scientists at the National Press Club, Washington, D.C., Climate Analysis Section, Newsletter 1(1). November 3, 1996.

United Nations. 1994. Disasters around the world--a global and regional view. U.N. World Conference on Natural Disaster Reduction, Yokohama, Japan, May 1994. IDNDR Information Paper No.4.

Vaughan, D. G. 1998. Antarctica: climate change and sea level. Statement prepared by Ice and Climate Division, British Antarctic Survey. (Internet: <http://bsweb.nerc-bas.ac.uk/public/icd>)

Vellinga, P., and R. Tol. 1993. Climate change: extreme events and society's response. *Journal of Reinsurance* 1(2):59-72. C. Lilly, ed.

Vinnikov, K. Y., A. Robock, R. J. Stouffer, J. E. Walsh, C. L. Parkinson, D. J. Cavalieri, J. F. B. Mitchell, D. Garrett, and V. F. Zakharov. 1999. Global warming and Northern Hemisphere sea ice extent. *Science* 286:1934-1937. December 3, 1999.

WASA Group. 1998. Changing waves and storms in the Northern Atlantic? *Bulletin of the American Meteorological Society* 79(5). May 1998.

Wigley, T. M. L. 1999. The science of climate change, global and U.S. perspectives. National Center for Atmospheric Research, PEW Center on Global Climate Change, June 29, 1999.

Wood, R.A., Keen, A.B., Mitchell, J.F.B. and Gregory, J.M., Changing spatial structure of the thermohaline circulation in response to atmospheric CO₂ forcing in a climate model, *Nature*, Vol. 401 (Issue 6752), 1999, 508 (1)

Zwiers, F. W., and V. V. Kharin. 1998. Changaz à effet de serre in the extremes of the climate simulated by CCC GCM2 under CO₂-doubling. *Journal of Climate* 11:2200-2222.

Programme Changements Climatiques du WWF

Le réchauffement de la planète et les changements climatiques qui y sont associés représentent une menace sérieuse pour la survie de nombreuses espèces végétales et animales, ainsi que pour le bien-être des populations dans le monde. Le WWF veut faire pression sur les pays industrialisés afin qu'ils enclenchent dès aujourd'hui un processus continu de réduction de leurs émissions de dioxyde de carbone –le principal gaz à effet de serre– et soient prêts à appliquer des réductions substantielles d'ici 2010.

WWF – Programme Internationale Changements Climatiques

Jennifer Morgan
c/o WWF US
1250 24th Street, NW
Washington, DC 200037
Etats-Unis
Tél. : +1 202 822 3455
Fax : +1 202 331 2391
Courriel: climate.campaign@wwfus.org
Site Internet : www.panda.org/climate

Marina Faetanini
WWF FRANCE
188 rue de la Roquette
75011 PARIS
France
Tel +33 155258484
Fax +33 155258474
Courriel : mfaetanini@wwf.fr
Site Internet : www.wwf.fr



Le WWF a pour objectif de stopper la dégradation de l'environnement dans le monde et de construire un avenir où les êtres humains pourront vivre en harmonie avec la nature :

- en préservant la biodiversité du globe
- en garantissant une utilisation durable des ressources naturelles renouvelables
- en encourageant des mesures destinées à réduire la pollution et la consommation