

COLLÈGE INTERARMÉES
DE DÉFENSE



Géopolitique de l'eau – Séminaire dirigé par Barah MIKAÏL

*L'impact du réchauffement climatique sur
l'état de l'eau douce : le cas hollandais.*

*C/ C1
COL.Roman Kučera*

MARS 2007

INTRODUCTION

1)Le réchauffement de la planète

- 1.1 La fonte des glaciers
- 1.2 L'élévation du niveau de la mer
- 1.3 La hausse des températures
- 1.4 Dégel du pergélisol
- 1.5 Prévisions météorologiques difficiles
- 1.6 Augmentation des températures de 2,5 degrés Celsius en 150 ans
- 1.7 L'énergie nucléaire : la solution aux changements climatiques
- 1.8 Les causes - globalement
- 1.9 Les conséquences – globalement

2. 'Dieu créa le monde,mais les Pays-Bas ont été créés par les Hollandais eux-mêmes.'

- 2.1 Assécher un polder, comment ça marche?
- 2.2 Les effets provoqués par le réchauffement climatique sur l'environnement
- 2.3 Le réchauffement a pour victime potentielle les Pays-Bas
- 2.4 Les conséquences du réchauffement climatique sur les Pays-Bas
- 2.5 L'impact sur les écosystèmes
- 2.6 L'impact sur la circulation de l'océan global (circulation thermohaline)

3. Le rude défi du changement climatique pour les Pays-Bas

- 3.1 Rendre les Pays-Bas à l'eau?
- 3.2 Ce n'est pas un hasard! De l'espace pour les fleuves!
- 3.3 Changement climatique
- 3.4 Élévation du niveau de la mer : les chiffres et les conséquences
- 3.5 Élévation du niveau de la mer : les scénarios
- 3.6 Le Plan Delta
 - 3.6.1 Les travaux du Zuiderzee
 - 3.6.2 Mer des Wadden
 - 3.6.3 Les grands fleuves
 - 3.6.4 Les Pays-Bas et l'eau : perspectives d'avenir
 - 3.6.5 Aider la nature

CONCLUSION

INTRODUCTION

Il y a un grand débat sur la part de responsabilité du réchauffement climatique dans les événements météorologiques de plus en plus destructeurs que connaissent les côtes. Au-delà de cette question, les scientifiques confirment que la montée du niveau de la mer – de plus de 19 cm depuis 1870, selon une récente étude australienne – pourrait s'accélérer.

Récemment, des travaux de recherche britanniques ont évoqué la menace d'un effondrement des calottes polaires, qui ferait encore monter le niveau de la mer de 5 à 6 mètres.

Une telle concentration humaine dans les zones côtières soulève trois problèmes majeurs.

Premièrement, comment gérer les pressions croissantes exercées sur l'environnement par les changements d'utilisation des terres, la pollution, l'aquaculture, etc., de manière à ce qu'elles ne compromettent pas le rôle de tampon naturel des zones côtières ?

Deuxièmement, comment organiser l'habitat, dans ces zones, de manière à limiter le nombre d'habitants exposés à l'élévation du niveau de la mer, aux grandes tempêtes et aux autres effets prévus du changement climatique ?

Enfin, comment trouver un équilibre entre les demandes de permis d'exploitation du littoral qui émanent de multiples activités économiques souvent antagonistes, telles que le transport maritime, les activités extractives, le tourisme, la pêche et l'aquaculture ?

En dépit des engagements répétés de la communauté internationale, l'accès à l'eau n'est toujours pas assuré pour des quantités croissantes d'êtres humains. Si rien ne change, la moitié des habitants du monde risque de manquer d'eau dans 20 à 30 ans. Symbolisant cruellement les inégalités qui déchirent la planète, l'accès à l'eau sera l'un des enjeux majeurs pour l'humanité au 21^{ème} siècle. Les solutions existent. Mais la volonté politique de les mettre en oeuvre fait encore défaut.

À cause du réchauffement de la planète, la banquise de l'océan Arctique a perdu la moitié de son épaisseur depuis trente ans. Au rythme actuel, il n'y aura plus de glace permanente au pôle Nord dans une vingtaine d'années. Le risque est beaucoup plus immédiat qu'on ne le croyait.

Du côté de l'Antarctique, les glaces en auront pour des milliers d'années avant de fondre complètement. Mais le processus de décongélation est en marche et, puisque les glaciers du pôle Sud reposent sur le continent, la fonte de ces glaciers pourrait jouer un vilain tour au niveau de l'eau des mers.

Quels seront les impacts sur la planète?

1) Le réchauffement de la planète

1.1 La fonte des glaciers

« Il n'y a plus de saisons! »

Le climat subit des sautes d'humeur dévastatrices, les catastrophes naturelles s'alignent à un rythme inquiétant, la planète est bel et bien en train de se réchauffer.

La planète entière va se réchauffer beaucoup plus rapidement à la suite de la fonte de l'Arctique. Avec la perte de la glace polaire, on aura perdu un gigantesque miroir, grand comme la moitié du Canada, qui renvoie l'énergie solaire vers l'espace.

Et si l'océan Arctique se réchauffe, il se crée un cercle vicieux: la glace se forme plus tard à l'automne, fond plus vite au printemps et l'océan Arctique reçoit encore plus de chaleur.

Le climat du Canada sera le premier affecté puisque les vents du nord seront plus cléments : « Il va y avoir moins de vagues de froid qui vont descendre. Et ce sont ces vagues de froid qui déterminent la distribution de plusieurs espèces végétales. L'agriculture va être modifiée. Les transports aussi, parce que les conditions de température, de gel et de dégel déterminent la quantité qu'il faut mettre d'asphalte, de béton. Tout va être modifié. Les conséquences sur l'économie des zones tempérées - en particulier le Canada - vont être absolument gigantesques », prévoit Louis Fortier.

Températures records de la planète, fonte des calottes glaciaires des pôles et des glaciers, hivers plus courts, couverture neigeuse réduite, hausse du niveau des océans, recrudescence des inondations côtières et des cyclones, évolution considérable de la répartition de la faune et de la flore, de la végétation et des maladies, courants océaniques modifiés.

Voici seulement quelques conséquences possibles des changements climatiques de la planète causés par les activités de l'homme, en particulier le déversement des fameux gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Il est incontestable que, la population mondiale dépassant actuellement 6 milliards d'individus et susceptible d'atteindre 9 milliards en 50 ans, le risque de destruction de la planète par l'homme n'a jamais été aussi grand au cours des 3000 dernières années de l'histoire de l'humanité. Toutefois, les questions essentielles restent posées. Le contact de l'homme et de la nature est-il vraiment à l'origine des changements à long terme de notre climat ? Quel est le degré de réalisme des prévisions apocalyptiques ?

La Terre est une véritable oasis de l'espace. La planète bleue tant admirée par les astronautes se situe à environ 150 millions de kilomètres du Soleil. A cette distance, les parties immergées de la Terre devraient être gelées, c'est-à-dire recouvertes d'une couche de glace. Sur une Terre sans air, la température moyenne de la surface de la planète aurait 33 °C de moins : elle serait alors de -18 °C au lieu de +15 °C. Si la Terre ne gèle pas, c'est grâce à l'atmosphère. Ce sont plus précisément certains gaz retenant la chaleur, les gaz dit "à effet de serre", qui donnent à la Terre sa température douce et stable, favorable à la vie.

La température globale de la Terre est à son maximum comparée sur des siècles

Les gaz à effet de serre, principalement la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone, jouent un rôle majeur dans la régulation de la température terrestre car ils laissent passer les radiations solaires, mais absorbent certaines radiations infrarouges (chaleur) émises par la surface chaude de la Terre. Résultat: la température de l'atmosphère basse augmente.

D'autres gaz à l'état de traces tels que le méthane, l'oxyde d'azote, l'ozone et les chlorofluorocarbones (CFC) contribuent également au réchauffement de la planète. La plupart de ces gaz sont présents naturellement, mais ils peuvent aussi être générés par l'homme. Un accroissement des émissions de gaz à effet de serre causées par l'industrie et l'agriculture risque donc d'accentuer l'effet de serre naturel.

La température globale de la Terre est à son maximum comparée sur des siècles. De nombreux scientifiques établissent un lien entre le réchauffement et la montée constante de la concentration du dioxyde de carbone et d'autres gaz à l'état de traces dans l'atmosphère.

Il est indéniable que la concentration des principaux gaz à effet de serre a considérablement augmenté ces dernières années. La concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère s'est accrue de près d'un tiers depuis 1750, essentiellement suite à la combustion de combustibles fossiles et à des changements d'occupation des sols tels que la déforestation. Des études de l'air enfermé dans des calottes glaciaires de l'Antarctique révèlent que le niveau actuel est au plus haut depuis au moins 420 000 ans, et peut-être 20 millions d'années.

On observe la même tendance pour beaucoup d'autres gaz à effet de serre. Les niveaux de méthane ont triplé depuis 1750, l'oxyde d'azote a augmenté de 17 % et l'ozone de l'atmosphère basse (la troposphère) de plus d'un tiers. La situation se dégrade davantage étant donné l'influence indirecte de certains polluants artificiels, en particulier les oxydes d'azote et hydrocarbures organiques, générant de l'ozone dans l'atmosphère basse.

Réchauffement de la planète

Les scientifiques s'accordent pour dire que la température moyenne du globe a augmenté d'un demi degré Celsius par rapport au siècle précédent, que la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère est en hausse depuis deux siècles et que le dioxyde de carbone est le gaz à effet de serre influant le plus sur le réchauffement de la planète. En outre, il est généralement reconnu que les années 1990 ont été la décennie la plus chaude et 1999 l'année la plus chaude depuis 1861, année où l'on a commencé à enregistrer les températures.

Toutefois, malgré les apparences, la communauté scientifique n'est pas en mesure de déclarer si le réchauffement est dû principalement aux émissions de CO₂, s'il se poursuivra et, le cas échéant, s'il serait nocif.

"L'une des raisons de ces incertitudes, c'est que le climat est en perpétuelle évolution", dit Richard Lindzen, professeur de météorologie au Massachusetts Institute of Technology. "Il y a deux siècles, la majeure partie de l'hémisphère nord sortait d'une courte période glaciaire. Au Moyen-âge, cette

même région a connu une période chaude. Et il y a trente ans, on s'inquiétait d'un refroidissement de la planète."

En dehors des variations climatiques naturelles, les scientifiques s'acharnent à étudier les interactions complexes entre l'atmosphère, les océans, les terres émergées et la biosphère. Ce n'est qu'aujourd'hui, avec l'arrivée de superordinateurs et de chaînes de données venant tout droit de satellites placés en orbite autour de la Terre, que les modèles climatiques du globe sont suffisamment réalistes pour permettre des prévisions raisonnables et justes.

Cependant, même les modèles informatiques les plus perfectionnés ne peuvent pas prévoir l'avenir avec précision, d'une part parce qu'il existe des interactions complexes entre les systèmes naturels de la Terre, d'autre part parce que ces modèles se basent souvent sur des ensembles de données couvrant seulement quelques décennies.

Cette incertitude est exprimée dans le dernier rapport d'évaluation de l'IPCC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) qui estime la hausse de la température de la surface de la Terre en moyenne entre 1,4 °C au minimum et 5,8 °C au maximum sur la période de 1990 à 2100.

Equilibre du climat

Pour conserver une température globalement favorable, la Terre doit dégager une certaine quantité d'énergie thermique dans l'espace. L'énergie dégagée par la Terre se compose de deux éléments : les radiations thermiques émises par la surface de la Terre et l'atmosphère, d'une part, et les radiations solaires renvoyées par réflexion vers l'espace lointain par les océans, les terres émergées, les aérosols (fines particules en suspension) et les nuages, d'autre part.

L'équilibre entre l'énergie émise par le Soleil, arrivant sur la Terre, et l'énergie dégagée par la Terre vers l'espace, appelé scientifiquement " bilan radiatif ", détermine la température et le climat sur la Terre. Ce bilan dépend à la fois de variations naturelles et causées par l'homme, présentant aux scientifiques une large étendue de scénarios possibles à étudier.

Pour comprendre le climat, les scientifiques doivent donc déterminer ce qui fait varier le bilan radiatif de la Terre. Et c'est là précisément que les données de satellites jouent un rôle encore plus déterminant.

Les plates-formes mises en orbite autour de la Terre peuvent mesurer en permanence de nombreux indicateurs climatiques sur l'ensemble de la planète, ce qui était tout à fait impossible avant la conquête spatiale. En intégrant des données fournies par des instruments spatiaux, les scientifiques peuvent tester et améliorer la précision de leurs modèles climatiques de la planète. Cela donne enfin une image nouvelle du bilan énergétique du plus haut niveau de l'atmosphère à la surface de la Terre, en passant par tous les niveaux intermédiaires.

Notre Terre en perpétuelle évolution

Alors que les preuves dont on dispose laissent supposer que les activités de l'homme ont une influence perceptible sur le climat mondial, les modèles climatiques existants restent sceptiques quant aux origines de ces changements et à leur impact futur sur l'habitabilité de notre planète.

La masse de données qui nous vient tout droit des satellites de surveillance de l'environnement de nouvelle génération permettront de lever de nombreux doutes. Le plus puissant et le plus polyvalent d'entre eux est le satellite Envisat de l'Agence spatiale européenne, le plus grand satellite jamais construit en Europe.

Envisat, dont le lancement est prévu au début de l'année prochaine, aura à son bord 10 instruments spécialement conçus pour étudier notre planète en perpétuelle évolution. La plupart de ces instruments auront une influence directe sur la recherche en chimie atmosphérique et changements climatiques de la planète.

Un des rôles essentiels de la batterie d'instruments montés à bord d'Envisat sera de mesurer la concentration de vapeur d'eau, de gaz à l'état de traces et d'aérosols à différents niveaux de l'atmosphère, que l'on n'a pas réussi à quantifier correctement pour l'instant.

Ce rôle est particulièrement important car de fortes quantités de polluants artificiels tels que des composés de carbone, de chlore, d'ozone, d'azote et de soufre, ont été rejetés dans l'atmosphère tout au long du siècle dernier. Non seulement ces polluants agissent comme des gaz à effet de serre, mais ils modifient la structure chimique de la haute atmosphère, parfois de manière inattendue.

Il est également nécessaire de clarifier la fonction des aérosols et des nuages dans le système climatique du globe. En effet, ils peuvent à la fois absorber et disperser les radiations solaires, modifiant ainsi la quantité d'énergie arrivant à la surface de la Terre.

Les aérosols peuvent également augmenter la vitesse à laquelle l'énergie solaire est renvoyée dans l'espace en favorisant la formation de nuages. Cependant, il est difficile d'évaluer dans quelles proportions ils modifient le climat de la Terre car ils varient considérablement en termes de taille, de forme et de composition chimique. Les capteurs installés sur Envisat nous permettent de connaître l'origine, la dynamique et enfin la disparition des aérosols.

Placé relativement proche de la Terre, Envisat surveillera également les changements des conditions en surface. Un enregistrement continu de la température de la surface des océans sera essentiel, étant donné que les océans absorbent au moins la moitié du surplus d'énergie thermique que reçoit la Terre, et ensuite transfèrent cette énergie des tropiques vers les pôles. Envisat sera aussi en mesure de surveiller les courants océaniques et les oscillations périodiques climat-océan comme le fameux El Niño se manifestant le long des côtes du Pacifique à quelques années d'intervalle.

Un autre instrument d'Envisat mesurera la couleur de l'océan, c'est-à-dire la concentration de chlorophylle dans les couches supérieures de l'océan. C'est un instrument important car il indiquera l'abondance de plantes et d'animaux microscopiques formant le plancton. En surveillant la "floraison" des océans au printemps, les scientifiques pourront étudier l'activité biologique des niveaux supérieurs de l'océan et déterminer la quantité de carbone susceptible d'être stockée.

"L'absorption de CO₂ par les océans est des plus difficiles mais motivantes à quantifier", déclare le professeur David Llewellyn-Jones, responsable des sciences de l'observation de la Terre à l'Université de Leicester (Royaume-Uni). "Les océans dissolvent le CO₂ qui est ensuite assimilé dans le système biologique marin et revient dans le cycle du carbone. Les observations par satellite de la couleur des océans peuvent permettre de déterminer la productivité biologique à

l'échelle du globe. L'instrument MERIS installé sur Envisat fournira des données supplémentaires relatives à la productivité biologique des océans et à son influence ultérieure sur l'assimilation de CO₂."

De même, la surveillance de la végétation terrestre donnera de meilleures estimations de la quantité de carbone et d'énergie absorbée ou rejetée dans l'atmosphère. Ceci est crucial car des doutes considérables planent actuellement sur le budget de carbone de la planète.

Enfin, la cartographie par tous les temps des glaces et des terres depuis l'orbite donnera des indications fondamentales sur l'évolution climatique de la planète. Des études examinant si les calottes glaciaires et les glaciers se rétrécissent, avancent ou se retirent, donneront aux scientifiques des signes de changement climatique. En dehors des conséquences sur la hausse du niveau des océans et les inondations côtières, ces études nous informeront sur l'albédo de la Terre, c'est-à-dire la quantité de radiations solaires qu'elle renvoie par réflexion dans l'espace.

"Les échos radar en provenance des calottes glaciaires nous permettent d'estimer leur profondeur", dit Seymour Laxon du University College de Londres. "En mesurant les variations de la profondeur des calottes glaciaires de l'Antarctique et du Groenland, nous pouvons déterminer si elles s'étendent ou se rétrécissent et si le niveau des océans du globe en sera affecté."

"Nous travaillons également avec le Hadley Centre for Climate Change (Centre Hadley sur les changements climatiques, au Royaume-Uni) pour intégrer les données relatives aux glaces de mer dans leurs modèles de changements climatiques", ajoute-t-il. "Ceci nous aidera à améliorer les prévisions réalisées par ces modèles."

Les scientifiques sont unanimes sur le fait que le développement de modèles informatiques toujours plus complexes est essentiel pour une meilleure compréhension des changements climatiques à venir.

"Le seul moyen de savoir si les modèles climatiques sont justes est d'avoir les bonnes observations", dit le professeur Llewellyn-Jones. "Les observations nous disent ce qu'il y a, ensuite nous établissons un modèle pour décrire ce comportement et nous faisons des prévisions pour l'avenir."

"Enfin, nous utilisons les observations pour vérifier nos prévisions", explique-t-il. "C'est la logique de toute la recherche sur le climat : être capable d'effectuer des prévisions exactes sur ce qui se produira à l'avenir. Et ceci ne serait pas possible sans les observations de satellites comme Envisat et des modèles informatiques encore plus perfectionnés".

Un réchauffement moins marqué que prévu

Le climatologue polonais Rajmund Przybylak a publié une dizaine d'études sur les climats nordiques et arctiques, ainsi qu'un récent livre de référence sur la question (Przybylak 2003). Ses conclusions provisoires sont opposées à celles du GIEC et de l'IASC.

En 2002, R. Przybylak a livré une analyse détaillée des températures arctiques, à partir de 10 stations météo représentant l'ensemble des sous-climats de la région. Entre 1951 et 1990, le climatologue a analysé la température moyenne, maximale et minimale ainsi que l'amplitude diurne, pour aboutir à une évolution des tendances intra-saisonnières et inter-annuelles sur quatre

décennies. La majorité des données ainsi rassemblées ne se révèle "pas significative", c'est-à-dire sans tendance claire au réchauffement ou au refroidissement. Les variations intra-saisonniers sont plutôt positives pour l'Arctique norvégien et l'Est du Groenland, mais négatives dans les zones arctiques russe et canadienne. L'Arctique russe tend à se refroidir, alors qu'une tendance inverse est constatée ailleurs. Conclusion du chercheur : "l'absence de changement significatif dans la variabilité intra-saisonnaire et inter-annuelle de la température moyenne, de la température maximale, de la température minimale et de l'amplitude diurne est une preuve supplémentaire (à côté de la température moyenne) que l'on ne peut identifier en Arctique, dans la période 1951-1990, de manifestation tangibles d'un effet de serre" (Przybylak 2002).

Deux années plus tôt, R. Przybylak avait fait sensation en remettant en cause la fiabilité des méthodes utilisées par le GIEC, au moins en ce qui concerne le climat arctique. Sur une période plus limitée (1991-1995), le climatologue a analysé l'évolution des températures dans 37 zones arctiques et 7 zones sub-arctiques. Ces régions sont représentées par 30 'boîtes' dans les modèles numériques actuels. Ces boîtes représentent un maillage tridimensionnel de la Terre, où l'on rentre le maximum de données climatiques pertinentes (température, ensoleillement, pluviométrie, pression, vent, etc.) pour évaluer ensuite des bilans et des tendances. Les modèles météorologiques et climatologiques utilisent des maillages comparables (de dix à cent kilomètres entre chaque intersection selon les zones et les modèles), qui sont cependant paramétrés de manière différente selon que l'on étudie les prévisions à court, moyen ou long terme. Cette étude de Przybylak a abouti à plusieurs conclusions :

- le réchauffement des années 1990 est d'autant plus marqué que l'on s'éloigne des climats polaires et que l'on se rapproche des climats tempérés, ce qui va à l'encontre des prévisions actuelles des modèles climatiques (réchauffement plus marqué au pôle). Le réchauffement global de la période 1991-1995 en Arctique est de $0,1^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$, alors que dans la même période le réchauffement de l'Hémisphère Nord est de $0,3^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$, de $0,2^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$ pour l'Hémisphère Sud et de $0,26^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$ pour la moyenne du Globe ;
- la corrélation entre les températures des stations et celles des grilles du modèle pour les températures n'est que de 0,55, ce qui signifie que 70% de la variation des températures prise en compte par les modèles ne se retrouvent pas dans les températures réellement relevées au sol ;
- les températures les plus chaudes du XXe siècle en Arctique sont observées au cours des années 1930, alors que les émissions humaines de gaz à effet de serre étaient nettement plus insignifiantes qu'aujourd'hui (Przybylak 2000).

L'équipe d'Igor Polyakov (Centre international de recherche sur l'Arctique, Université de l'Alaska, Fairbanks) parvient elle aussi à des conclusions différentes de celles du GIEC et de l'IASC (Polykov 2003). Elle ne s'est pas contentée des données de la seconde partie du XXe siècle, mais a remonté le climat de l'Arctique jusqu'à 1875. Les données dans la région ne datent pas d'hier. Les plus anciennes observations ont commencé en Finlande, en 1737 et 1749, dans les latitudes supérieures à 65°N . La première station russe fut installée à Arkhangelsk en 1813. La première station terrestre en Alaska ouvre en 1897, mais les observations ont débuté dès 1828. Les données marines commencent quant à elles vers la fin du XIXe siècle. Il n'y a donc aucune raison d'exclure ces données, et il est même nécessaire de les inclure à une étude du climat arctique du XXe siècle, marqué par oscillations à basse fréquence de 50-80 ans. Les données obtenues par Polyakov montrent un réchauffement moyen par décennie de $0,09^{\circ}\text{C}$ entre 1875 et 2000, plus marqué en hiver et au début du printemps (rappelons qu'en hiver, les glaces ne fondent pas puisque les températures sont toujours nettement négatives). Sur l'ensemble du XXe siècle, le réchauffement constaté en Arctique est de $0,05^{\circ}\text{C}$ par décennie, légèrement inférieur au réchauffement mondial ($0,06^{\circ}\text{C}$). C'est à nouveau le contraire des prévisions des modèles climatiques, qui annoncent une accentuation du réchauffement aux pôles. Les auteurs estiment par ailleurs que l'Arctique était plus

chaud dans les années 1920 et 1930 qu'à la fin du XXe siècle. "Le réchauffement seul ne suffit pas à expliquer le retrait des glaces amorcées dans les années 1980 et 1990", conclut l'équipe de Polyakov. L'explication la plus probable réside selon eux dans le passage des pressions atmosphériques d'un régime anticyclonique vers un régime cyclonique.

Petr Chylek (Laboratoire national de Los Alamos, Etats-Unis) et son équipe se sont pour leur part penchés sur le Groenland (Chylek 2004). Cet immense inlandsis de 1,8 millions de m², le seul dans la région arctique, soulève régulièrement les craintes puisque la fonte de sa calotte glaciaire entraînerait une hausse considérables du niveau des mers et de probables perturbations climatiques à l'échelle globale. A l'échelle du XXe siècle, on constate un léger réchauffement global. Mais l'analyse détaillée des données laisse perplexe. Le réchauffement le plus important a eu lieu dans les années 1920, où l'on a constaté une hausse des températures de 2 à 4°C sur les côtes groenlandaises, le réchauffement hivernal pouvant même atteindre 6°C en moins d'une décennie. Rien à voir avec des perturbations dues à l'homme, puisque les émissions de gaz à effet de serre étaient alors dérisoires. Plus étonnant encore, la tendance moyenne du Groenland depuis les années 1940 est au refroidissement. Celui-ci est plus marqué au sommet de l'immense calotte glaciaire, avec une chute de 2,2°C par décennie depuis le début des mesures exactes en ce point (1987). Non seulement le Groenland ne fond pas, mais il renforce ses glaces !

Le début du XXe siècle plus chaud que sa fin

Comme tous les autres climats, celui de l'Arctique doit s'apprécier sur le long terme. Avant de considérer une hausse ou une baisse de température comme 'dramatique', 'catastrophique' ou 'inédite', il convient naturellement de s'interroger sur les amplitudes passées. Il se trouve que le climat arctique est caractérisé par une grande variabilité. Voici quelques observations récentes de la recherche en ce domaine.

Dahl-Jensen et al. (1998) ont analysé deux séries de données issus de forages des calottes groenlandaises et permettant de reconstruire les températures sur 50.000 ans (pour le forage en altitude, GRIP) et 7.000 ans (pour le forage Dye3, situé 865 km plus au Sud). Ils en concluent que le Petit Age Glaciaire était plus froid en moyenne de 0,5-0,7°C par rapport au présent. Quant aux températures récentes, elles ont "atteint un maximum autour des années 1930 [...mais] ont décliné au cours des dernières décennies".

Wagner et Melles (2001) ont étudié un bloc sédimentaire de 3,5 m, récupéré dans un lac près de la côte Est du Groenland, afin de repérer les traces organiques laissées par les oiseaux de mer au cours des 10.000 dernières années. Ils ont relevé un pic d'activité dans la période qui court du IXe au XIIIe siècle (optimum médiéval) suivi d'une baisse marquée, voire d'une absence totale de traces au coeur du Petit Age Glaciaire, qu'ils considèrent comme la période la plus froide de l'Holocène. Le dernier siècle montre un retour des oiseaux de mer, mais les signes biogéochimiques n'atteignent pas encore les niveaux de l'optimum médiéval.

Moore et al. (2001) ont eux aussi réalisé une analyse de sédiments lacustres (lac Donard, Ile Baffin, Canada), sur la période 750-1990, afin d'évaluer la température moyenne des étés dans cette région. Une période chaude est documentée entre 1200 et 1375. La période la plus froide commence à partir de l'année 1375, qui marque le début du Petit Age Glaciaire dans cette région, et dure jusque vers 1800. La période 1800-1900 est se traduit par un réchauffement assez rapide, mais un refroidissement aboutit à des températures à nouveau froides autour de 1950. Les quarante dernières années sont marquées par une alternance de refroidissement et de réchauffement.

Kasper et Allard (2001) ont étudié les fentes de gel du Nord du Québec (Salluit). Les fentes de gel sont des réseaux de polygones réguliers qui se forment naturellement dans le pergélisol, en raison des amplitudes thermiques entre les saisons et des mouvements conséquents de la glace. Sur 4000 années, ils concluent eux aussi à un minimum thermique au cours du récent Petit Age Glaciaire. Un réchauffement lui succède, qui est ici documenté jusqu'en 1946. Il s'ensuit un refroidissement au cours de la seconde moitié du XXe siècle.

Kaufman et al. (2004) ont effectué une méta-analyse de plusieurs indices (cernes des arbres, sédiments lacustres, carottage, etc.) dans 140 sites situés au Nord de la latitude 60°N, dans la partie occidentale de l'Arctique (1-180°W). Sur 120 de ces sites, ils ont trouvé des preuves évidentes de températures passées plus chaudes que les températures actuelles (moyenne du XXe siècle). A partir de 16 sites où des estimations quantitatives ont pu être réalisées, ils concluent que le maximum thermique du Holocène (HTM) était 1,6 +/- 0,8°C plus chaud que les conditions actuelles.

Toutes les glaces ne reculent pas

Prendre en compte le long terme : ce qui vaut pour les températures vaut aussi pour les glaces.

De spectaculaires images satellite, abondamment reproduites depuis qu'elles ont été déclassifiées par les autorités américaines, montrent une inexorable réduction de la banquise de l'Océan Arctique en septembre (lorsqu'elle a sa plus faible extension). Mais ces images ne commencent qu'en 1978. Or, comme nous l'avons vu, le climat arctique est marqué par de lentes oscillations multidécennales. Au réchauffement des années 1920 à 1940 a succédé un refroidissement des années 1940 aux années 1970, puis une nouvelle phase de réchauffement à partir des années 1980. Les images satellitaires d'extension de la glace dans l'océan Arctique ont donc commencé à la fin d'une période "froide" et au début d'une période "chaude". Il n'est pas étonnant dans ces conditions qu'elles montrent une diminution continue de la masse glaciaire. Malgré cela, un chiffre revient sans cesse : les glaces de l'Océan Arctique ont perdu 40% de leur volume (épaisseur) en quatre décennies. L'estimation figure dans le troisième rapport du GIEC (2001) et a depuis valeur d'emblème. Qu'en est-il ?

Cette estimation d'une diminution estivale de 40% de la couverture glaciaire de l'Arctique provient pour l'essentiel d'une étude publiée en 1999 par D.A.Rothrock et al. (Rothrock 1999). Dans cet article, les auteurs montraient que l'épaisseur moyenne de la mer de glace arctique était passée de 3,1 mètres dans la période 1958-1976 à 1,8 mètre dans la période 1993-1997. Le calcul est rapide à faire, et les auteurs ne s'en privent pas : un "amincissement de 40 %" est constaté sur quarante ans. Cette estimation, confirmée l'année suivante par une autre étude (Wadhams 2000), fera et fait encore le tour du monde. Ce n'est pas le cas des articles critiques qui ont suivi sa publication. Voici quelques exemples.

Peter Winsor a utilisé les données de six sous-marins naviguant sous le pôle Nord et dans la mer de Beaufort entre les années 1991 et 1997. L'analyse des séries de données montre un léger épaissement de la glace dans le premier cas, une diminution tout aussi légère dans le second cas. Winsor remarque : "En combinant les présents résultats avec ceux d'une précédente étude, je conclus que l'épaisseur moyenne de la glace de mer est restée à un niveau à peu près constant au Pôle Nord entre 1986 et 1997" (Winsor 2001).

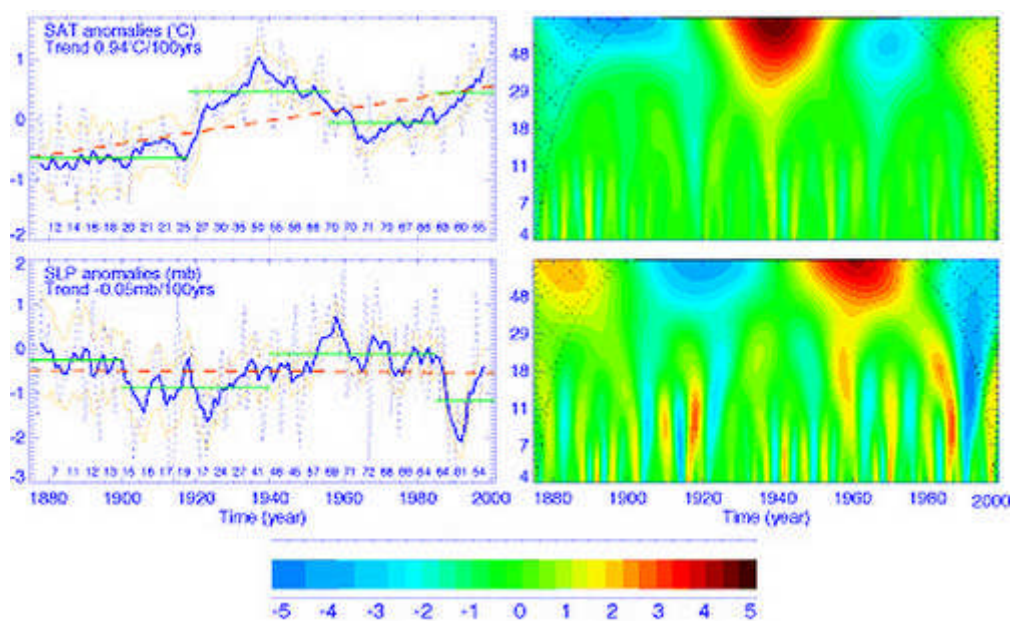
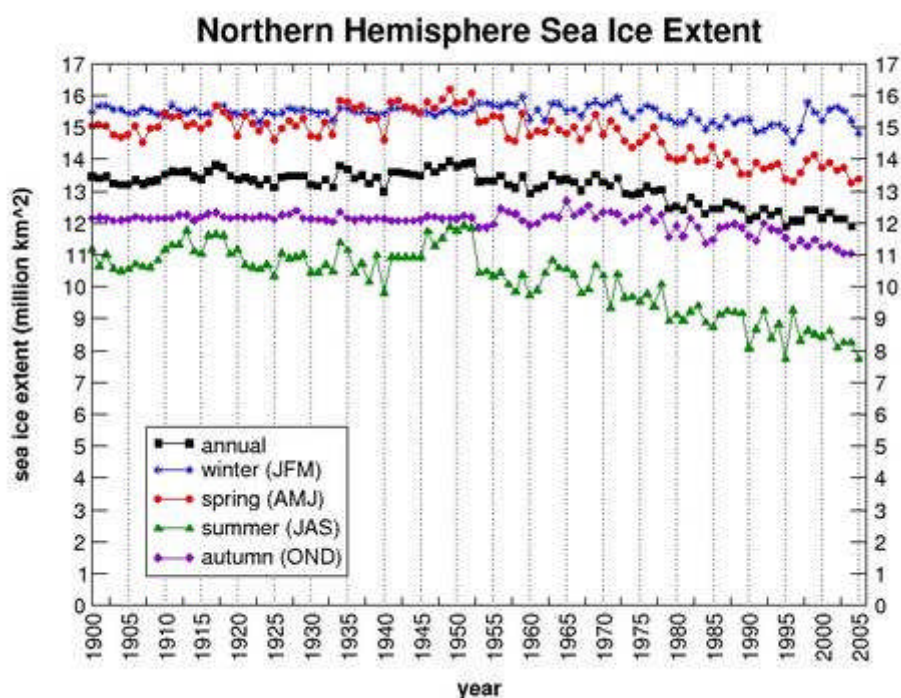
La même année, Walter Tucker et son équipe confirme une réduction de l'épaisseur de la glace dans l'Arctique occidental, au large de l'Alaska, entre les années 1980 et les années 1990. Mais ils ne retrouvent pas eux non plus le même résultat au Pôle Nord. Ils attribuent les différences constatées aux effets dynamiques locaux de la glace, et non au réchauffement (Tucker 2001).

Greg Holloway et Tessa Sou (2002) ont souligné un problème d'échantillonnage dans l'étude de Rothrock. Les données proviennent d'expéditions sous-marines ; elles sont de nature limitée (29 points) et locale. Ces données ne reflètent pas nécessairement l'état de la glace mer dans son ensemble. Surtout, cette glace qui recouvre l'Océan arctique est mobile et dépend étroitement du forçage des vents, qui n'était pas pris en compte dans l'étude Rothrock et al. Les vents dominants soufflant sur l'Arctique, et les courants océaniques en découlant, peuvent ainsi déplacer les gains et les pertes de glace du centre vers la périphérie. En utilisant leur propre modèle, Holloway et Sue parviennent à une réduction de la glace de 12 à 16 % seulement pour l'ensemble du domaine arctique.

Igor Polyakov et son équipe ont pour leur part étudié l'épaisseur de la glace (1936-2000) et son extension (1900-2000) dans les mers de Kara, Laptev, Sibérie orientale et Chukchi, qui bordent toutes l'Océan Arctique au nord de la Sibérie (Polykov 2003). Ils ont bénéficié pour cela de la déclassification de données russes, permettant une évaluation sur le long terme. Concernant l'épaisseur de la glace, les auteurs constatent des tendances positives dans les mers de Kara et Chukchi, négative dans la mer de Sibérie orientale et de Laptev. En tout état de cause, les variations étaient faibles (environ 1 cm par décennie). Ils en concluent : "L'examen des données [...] indique que les tendances à long terme sont faibles et généralement insignifiantes d'un point de vue statistique, et que les tendances à court terme ne sont pas représentatives".

Dans *Nature*, Seymour Laxon et ses collègues ont récemment souligné la "variabilité interannuelle forte" de l'épaisseur des glaces en Arctique, sur la base de huit années de données satellitaires (ERS1 et ERS2). En hiver, l'épaisseur moyenne de la banquise s'établit selon eux à 2,73 m, avec 24,5 cm (en plus ou moins) de variation chaque année (soit une amplitude de 16%, une demi-fois supérieure aux paramètres actuels des modèles climatiques). Considérant pour leur part que le risque d'amincissement de la glace de mer est réel, ils remarquent néanmoins : "tant que les modèles ne reproduiront pas correctement la variabilité de l'épaisseur de la glace de mer, fréquente et thermodynamiquement régulée, les changements dans la couverture glaciaire de l'Arctique resteront une question ouverte" (Laxon 2004).

Par ailleurs, la comparaison de l'extension annuelle de la banquise et de la courbe des températures montre un phénomène intéressant de découplage.



Le premier graphique provient de la base de données sur les banquises arctiques de l'Université de l'Illinois. Elle montre un déclin progressif depuis 1950 de l'extension printanière, estivale et automnale (mais pas hivernale). Le second graphique est une reconstruction des températures (en haut) et des pressions de surface (en bas) de la zone arctique par l'équipe d'I Polykov (2004). Le comportement de la banquise ne suit apparemment pas directement celui des températures. Si l'on voit la carte des températures, qui concerne la zone 62°N-pole, on constate un refroidissement 1950-1972 et une nette hausse depuis 1972. Or, les banquises n'ont pas vraiment augmenté pendant le refroidissement. On remarquera aussi des températures plus élevées dans les années 1920-1940 que dans les années 1980-2000, mais il manque une estimation des banquises à cette époque pour

établir la comparaison.

Qu'en est-il pour le Groenland ? En 2005, Ola Johannessen (Université de Bergen, Norvège) et ses collègues ont publié une analyse satellitaire de l'inlandsis groenlandais, en l'occurrence les relevés altimétriques ERS1 et ERS2 collectées entre 1993 et 2003 (soit au maximum du réchauffement récent). "Une élévation de 6,4 cm par an est constatée dans les larges zones intérieures situées au-dessus de 1500m d'altitude", relèvent les chercheurs. En-dessous de 1500 m, la couverture de glace aurait perdu 2 cm par an. Mais le bilan global reste positif pour le Groenland, avec un gain de 55 cm en onze ans (Johannessen 2005). Rappelons à l'occasion que Groenland signifie "la terre verte" et ce nom lui fut donné par les Vikings vers l'An Mil. Nul doute qu'à cette époque pas si lointaine la fonte des glaces sur les côtes groenlandaises devait être autrement plus prononcée qu'aujourd'hui...

La même année 2005, Richard Alley (Université de Pennsylvanie, Etats-Unis) et ses collègues ont passé en revue les études récentes sur la fonte des glaces aux pôles et l'élévation consécutive du niveau de la mer. Ils en concluent que "[les modèles climatiques] ne sont pas capables d'évaluer si les changements en cours représentent des perturbations mineures en voie de stabilisation, ou un changement majeur qui pourrait notablement affecter le niveau des océans" (Alley 2005).

1.2L'élévation du niveau de la mer

La mer peut avoir un effet dramatique quand elle s'infiltré sous la glace. Mais avant de crier à la catastrophe, il faut d'abord déterminer à quelle vitesse la mer s'infiltré sous le glacier. Voilà pourquoi on étudie depuis des années la [plate-forme de Ross](#), à la station [Mc Murdo](#).

On a notamment examiné les sédiments sous la glace afin de déterminer leur âge. Les résultats ont été publiés à l'automne 1999: la pénétration de la mer se poursuit depuis la fin de l'ère glaciaire, il y a 10 000 ans. Depuis lors, elle progresse de façon très régulière (environ 30 centimètres par jour), et on ne décèle ni ralentissement, ni accélération au cours des dernières années.

En somme, la glace va sans doute disparaître dans l'ouest de l'Antarctique, mais cela pourrait bien prendre encore des milliers d'années. À court terme, le niveau des mers ne devrait donc pas augmenter de plus d'un mètre d'ici cent ans.

Après l'appel de Londres et ses craintes de voir les conséquences du réchauffement climatique être plus graves que l'on ne l'imaginait, une nouvelle étude tend à démontrer que les glaciers du sud du Groenland rejettent de plus en plus de glace dans l'Atlantique, contribuant ainsi davantage à l'élévation du niveau de la mer qu'on ne le pensait jusqu'alors. A paraître aujourd'hui dans la revue scientifique *Nature*, les travaux de deux chercheurs américains montrent que des températures plus élevées augmentent la quantité d'eau fondue à l'endroit où les glaciers glissent sur la roche.

Comme sur un tapis de billes, les glaciers avancent plus vite qu'auparavant vers l'atlantique. Ce sont des données satellitaires collectées depuis 1996 qui ont permis d'établir la vitesse des glaciers qui progressent de 13 à 15 kilomètres par an pour les plus rapides et rejettent une quantité croissante de glace dans l'Atlantique. Les chercheurs craignent par ailleurs que la poursuite du réchauffement climatique conduise au même phénomène pour les glaciers du nord du Groenland. Ces glaciers pourraient désormais représenter près de 17% de la hausse annuelle du niveau de la mer, ce qui est deux fois plus élevé que les précédentes estimations.

Conjuguée à la dilatation des océans sous l'effet de l'augmentation de leur température, cette accélération de l'apport d'eau depuis les glaciers pourrait rapidement conduire à des inondations catastrophiques dans les zones côtières. Seules, d'abondantes chutes de neiges pourraient ralentir la perte de glace, mais ne résoudraient en rien la montée des océans.

1.3 La hausse des températures

Au-delà des écureuils qui s'adaptent, des glaciers qui fondent et des communautés en péril, le réchauffement du Grand Nord prend de multiples autres formes. Les arbres meurent par millions, certains insectes deviennent des fléaux, la banquise arctique rapetisse et menace les ours polaires, les phoques et les morses, les côtes s'érodent, les constructions s'enfoncent dans le sol, des lacs apparaissent et d'autres disparaissent, les caribous ne trouvent plus assez à manger, les renards arctiques sont confrontés à leurs cousins du sud, la toundra s'assèche et les Inuits ne reconnaissent plus leur monde.

Le diagnostic est clair : le Grand Nord fait de la fièvre.

« Pour l'Arctique, ce qu'on peut dire, c'est que la plupart des régions sont devenues plus chaudes. Dans les trois dernières décennies, la température s'est élevée de deux à trois degrés Celsius. C'est considérable », soutient Gunther Weller. Professeur émérite en géophysique à l'université de l'Alaska à Fairbanks, spécialisé dans la climatologie des régions polaires, Gunther Weller a la tête dans les nuages depuis 40 ans, mais il garde les deux pieds fermement sur terre. « La différence entre un âge glaciaire et une période interglaciaire, comme celle que nous avons maintenant, n'est que de 6 ou 8 degrés Celsius. Vous descendez la température de 6 ou 8 degrés et vous avez un gigantesque manteau de glace qui couvre l'Arctique, l'Europe et l'Amérique du Nord. Au contraire, avec une hausse de 6 ou 8 degrés Celsius, les calottes polaires fondent et le niveau de la mer augmente de 100 mètres. » Selon Gunter Weller, l'influence de l'activité humaine dans le processus de changement climatique ne laisse aucun doute. Mais pour l'instant, ce qui l'intéresse, c'est la façon dont le réchauffement est en train de déstabiliser l'ensemble du monde polaire.

La grande région circumpolaire, ce Grand Nord mythique, commence au 60^e parallèle et compte, outre la partie supérieure du Canada, l'Alaska, la Sibérie, le nord de la Scandinavie et le Groenland. Elle englobe aussi l'océan Arctique, une mer peu connue. Bref, c'est un territoire gigantesque. Dans la pratique, cet univers de glace et de neige sert d'air conditionné à tout l'hémisphère Nord, mais le réchauffement commence à détraquer cette remarquable machine climatique. C'est un processus simple, mais imparable, qui commence souvent à l'échelle locale avant de s'amplifier. Tout commence avec la hausse de la température au niveau du sol. « Il se développe des masses d'air réchauffé au contact du sol, là où le soleil frappe. Cet air chaud monte, un système de nuages se forme, avec des orages, des éclairs, de la grêle et tous les autres phénomènes que l'on voit plus au sud, et non à ces hautes latitudes. Il est maintenant de plus en plus évident que l'isotherme, la ligne moyenne de la hausse de température, est en pleine progression vers le nord », a observé M. Weller.

Neige, pluie, grêle, brouillard... Quelles formes ces précipitations prendront-elles? À quelle période de l'année? En quelle quantité? Déjà, on a noté des pluies verglaçantes bien au nord du 60^e parallèle. Là encore, c'est de l'inédit.

En fait, même le courant-jet est altéré. Ce vent très fort voyage d'ouest en est et sépare l'air froid du Nord canadien de l'air chaud qui provient du sud. C'est lui qui fait littéralement la pluie et le beau temps en Amérique du Nord, comme l'explique M. Weller. « En Alaska, le climat est beaucoup plus chaud parce que le courant-jet a une plus grande amplitude et qu'il pompe plus d'air chaud en provenance du Pacifique. » Ce transfert d'énergie entre le nord et le sud crée le désordre dans la météo de tout l'hémisphère. Résultat : des événements extrêmes de plus en plus fréquents, de plus en plus destructeurs. « Ces changements rapides nous inquiètent, ajoute-t-il. On peut s'adapter à des changements lents. Par exemple, on peut construire des murets pour protéger des installations côtières. Mais si les changements sont rapides, nous aurons des problèmes, parce que nous ne pourrions pas faire face à la situation. » Alors Gunther Weller reprend sa longue et patiente vigile à concocter des modèles de plus en plus sophistiqués, pour être en mesure de voir venir les coups.

1.4 Dégel du pergélisol

Les maisons, les chemins de fer, les routes, les pipelines, les aéroports, les mines, les exploitations pétrolières, toutes les infrastructures reposent sur un sol dont la caractéristique première est d'être gelé en permanence, sur une épaisseur moyenne de 50 à 200 mètres. C'est le pergélisol.

Généralement, la surface, qu'on appelle la couche active, ne dégèle jamais en profondeur, mais de quelques centimètres jusqu'à un mètre tout au plus. Il est tout à fait surprenant de voir qu'en plein été, alors qu'il fait 25 degrés Celsius à l'extérieur, le sol est toujours complètement gelé à moins d'une longueur de pelle.

Le problème, c'est que le pergélisol commence à fondre en profondeur dès qu'il y a de l'activité humaine, comme dans les champs où l'on a coupé les arbres. Professeur à l'Université de l'Alaska à Fairbanks, Vladimir Romanovski est un spécialiste mondial de ce drôle de sol. « Aussitôt que le pergélisol se met à fondre, la glace, les morceaux de glace qu'il contient deviennent de l'eau qui se met à ruisseler. Ultimement, la fonte de cette glace crée des cavités, ou des vides, sous la surface. Au début, la surface tient le coup, mais à la longue, à cause de l'humidité ou pour d'autres raisons, elle s'effondre, et cela crée ces espèces de trous. Ici, en Alaska, les gens les appellent : entonnoirs.

Le problème, c'est que le pergélisol commence à fondre en profondeur dès qu'il y a de l'activité humaine, comme dans les champs où l'on a coupé les arbres.

On comprend mieux l'importance d'étudier le pergélisol quand on sait qu'il couvre un territoire qui fait presque deux fois le Canada. C'est grâce à des stations météo automatiques distribuées partout dans le monde arctique que l'on a constaté les premiers changements. Toutes les cinq minutes, la température de l'air et la température à la surface du sol sont relevées, de même que la température de la couche active du pergélisol jusqu'à un mètre de profondeur. Lorsque les chercheurs viennent recueillir les données, ils en profitent aussi pour faire un petit test physique sur la solidité du pergélisol avec une tige de métal.

« Évidemment, on peut comparer avec les archives et on constate que ces changements n'arrivent pas qu'en Alaska, où ils sont plus prononcés, mais partout dans le Nord, dans l'hémisphère Nord. J'ai de très bonnes données provenant du centre et de l'ouest de la Sibérie qui montrent une hausse dramatique des températures du pergélisol, de même que sa fonte et sa dégradation », confie le professeur Vladimir Romanovski.

La fonte du pergélisol cause des problèmes sévères. Sur les routes de l'Alaska, par exemple. Ces routes gondolent tellement que, depuis 10 ans, on ne les refait plus. Tout au plus les nivèle-t-on chaque été.

1.5 Prévisions météorologiques difficiles

David Barber occupe la chaire Arctic System Science du Canada. Ce spécialiste de la glace de mer à l'Université du Manitoba étudie la banquise depuis 1981. Pour lui, la réduction de la banquise est loin d'être un phénomène anodin qui ne concerne que quelques espèces. « Réduisez la banquise, rendez-la plus petite, et une grande masse d'énergie va commencer à s'échanger entre l'atmosphère et l'océan. On peut déjà en voir les effets. L'année où la banquise est réduite, il y a beaucoup plus de tempêtes sur l'océan Arctique et il y a beaucoup plus d'air chaud qui descend de l'Arctique vers les régions du sud. » Pour le Québec et les Maritimes, cela signifie un climat plus chaud, mais aussi plus humide, avec en prime des tempêtes de neige et de pluie verglaçante exceptionnelles.

Mais il y a en jeu des retombées encore plus sérieuses.

La calotte polaire agit comme un miroir et retourne dans l'espace 80 % des rayons du soleil, donc de la chaleur. Ce phénomène s'appelle l'albédo. Quand la banquise est fragmentée, l'albédo diminue. Et quand l'eau est complètement libre de glace, l'albédo chute à 20 %. En fait, l'eau accumule beaucoup plus de chaleur que la glace. Cette chaleur supplémentaire fait à son tour fondre la banquise : un cercle vicieux sans fin. C'est ce qui explique que la banquise s'effrite et que le phénomène s'accélère. La mise en circulation de cette chaleur supplémentaire fait maintenant craindre le pire. « Le Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique prévoit qu'en 2050, la banquise va diminuer au point où elle sera absente de l'hémisphère Nord pendant l'été. Elle se réduira à presque rien, sinon à un petit morceau. Si cette projection s'avère juste, c'est très significatif globalement. Cela va changer la façon d'interagir des océans, de l'Atlantique au Pacifique, en passant par l'océan Arctique, et ça aura des conséquences planétaires », déclare David Barber.

Les changements climatiques pourraient compromettre la capacité des glaciers à régulariser le débit de l'eau s'écoulant vers certaines villes de l'Ouest canadien.

Bien qu'il soit difficile de s'imaginer qu'un énorme bloc de glace naturel a un effet sur les fleuves, par le passé les glaciers libéraient plus d'eau durant les étés chauds et secs et leur masse augmentait davantage durant les saisons fraîches et humides.

Pourtant, des recherches menées par Ressources naturelles Canada (RNCan) révèlent que l'incidence des glaciers sur le débit de l'eau était beaucoup moins importante en 1998 qu'en 1970, et ce, malgré le fait que les conditions météorologiques étaient pratiquement identiques durant ces deux étés.

Les chercheurs croient que cette différence peut s'expliquer par le fait que de nombreux glaciers des Rocheuses canadiennes se sont retirés durant l'intervalle.

En fait, les glaciers ne produisent qu'un infime pourcentage de l'eau utilisée pour la consommation humaine et l'agriculture. Mais à certaines périodes de l'année, en particulier à la fin de l'été et au début de l'automne, alors que la neige tombée en montagne durant l'hiver est fondue, les glaciers produisent une plus grande quantité de l'eau utilisée par des villes et villages de l'Alberta comme Banff, Lake Louise et Calgary. Certaines collectivités des Rocheuses ont déjà signalé une baisse du niveau de leurs réservoirs.

Une réduction du débit d'eau s'écoulant des glaciers pourrait avoir une incidence négative sur les tentatives futures visant à remplacer les centrales thermiques par des centrales hydroélectriques.

Les chercheurs de RNCAN surveillent également de manière continue l'incidence de la fonte des glaciers sur l'élévation du niveau de la mer. Au cours de la dernière décennie, la fonte des glaciers dans l'Ouest du Yukon et en Alaska a eu une plus grande incidence sur l'élévation du niveau de la mer que la fonte de l'inlandsis groenlandais. Il y a plus de glaciers et de glace au Canada que dans tout autre endroit au monde, à l'exception du Groenland et de l'Antarctique.

1.6 Augmentation des températures de 2,5 degrés Celsius en 150 ans

Des carottes de glace prélevées en Sibérie sur le glacier du Belukha par une équipe suisse-russe ont révélé une hausse de température de 2,5 degrés Celsius au cours des 150 dernières années ainsi qu'une augmentation des polluants atmosphériques depuis 1940, date des débuts de l'industrie lourde en Sibérie.

L'équipe, dirigée par l'Institut suisse Paul Scherrer, a effectué les carottages à environ 4000 mètres d'altitude, sur les flancs de la montagne Belukha, pic le plus élevé d'Asie centrale culminant à 4506 mètres. Les carottes longues de 86 mètres forées dans le glacier ont été transportées en Suisse pour analyse.

L'équipe a également observé l'accumulation de polluants dans la glace, phénomène qui traduit l'industrialisation de cette région lointaine limitrophe de la Mongolie, du Kazakhstan, de la Russie et de la Chine.

Pour déterminer l'évolution des températures, l'équipe a étudié la diminution des concentrations en oxygène-18 dans la glace. Cet isotope de l'oxygène influe sur la température et se stabilise lorsque la glace fond. Les glaciers se forment par superposition de couches, à l'instar des cernes d'un arbre, il est possible de dater les couches de façon extrêmement précise et d'estimer les températures ambiantes lors de la formation de la glace.

On peut lire dans le rapport, publié dans le Journal of Geophysical Research, que «les deux variables de température indiquent une tendance marquée au réchauffement de l'ordre de 1,6 et 0,4 degré Celsius et 1,7 et 1,1 degré Celsius au cours du siècle dernier, le calcul se basant sur les pourcentages de fonte et les concentrations en oxygène-18. Depuis la moitié du 19^e siècle, l'évolution des taux en oxygène-18 traduit une tendance au réchauffement d'environ 2,5 à 1,7 degrés Celsius».

Pour la même période, l'augmentation de la température moyenne à l'échelle mondiale est de 0,9 degré Celsius. En Sibérie, cette augmentation de la température est à multiplier presque par trois, phénomène que l'équipe pensait au départ pouvoir expliquer par la fin du «petit âge glaciaire»

avant d'en arriver à la conclusion selon laquelle le réchauffement est plus probablement dû – et c'est d'autant plus inquiétant – au climat continental de la région.

Les modèles de changement climatique prévoient une multiplication des phénomènes météorologiques extrêmes, effet encore amplifié pour les régions à climat continental. En fait, la situation s'est détériorée depuis 1988, comme l'attestent les motifs visibles dans la neige et correspondant à de la glace fondue et recongelée. «L'apparition soudaine de vastes épisodes de fonte depuis 1988 indique que les niveaux supérieurs du glacier du Belukha subissent un changement de la zone de recristallisation vers la zone d'infiltration froide qui permet désormais la percolation pluriannuelle des eaux de fonte, ce qui implique que la conservation des propriétés d'accumulation et des propriétés géochimiques, y compris celles permettant le calcul des variables de température, sont aujourd'hui en danger», peut-on lire dans le rapport.

Ces sévères conclusions contrastent avec la découverte paradoxale d'une baisse effective des teneurs en polluants dans la glace depuis le début des années 1980, ce qui laisse supposer que leur production par l'industrie avait déjà atteint son plafond quelque dix ans avant l'éclatement de l'Union soviétique.

1.7 L'énergie nucléaire : la solution aux changements climatiques

Principalement reliées à l'utilisation des combustibles fossiles, les conséquences environnementales pouvant découler des changements climatiques amènent plusieurs pays à envisager le recours à l'énergie nucléaire. Afin de réduire la production de gaz à effet de serre et assurer un approvisionnement énergétique à long terme, certains scientifiques et politiciens voient le nucléaire comme l'énergie de l'avenir.

Procédant à un virage à 180 degrés par rapport à la politique énergétique actuelle de la Grande-Bretagne, Tony Blair s'apprête à annoncer le renouvellement du parc nucléaire britannique. Appuyé récemment par un sondage où 55 % de la population serait désormais favorable à la construction de nouvelles centrales nucléaires visant un meilleur équilibre entre les différentes sources d'énergie, le premier ministre Blair s'est dit prêt à prendre «des décisions difficiles et controversées dans l'intérêt à long terme du pays».

Effectivement, le 22 novembre dernier, Tony Blair a affirmé qu'il serait prêt à donner son aval à la construction de nouvelles centrales nucléaires si la sécurité des déchets est garantie et que les centrales sont bien protégées d'éventuelles attaques terroristes.

Selon cette perspective, l'énergie nucléaire pourrait fournir jusqu'à 40 % des besoins en électricité du pays. Actuellement, le nucléaire fournit 21 % des besoins et les secteurs du gaz et du charbon comptent pour 37 % et 34 % respectivement. Or, Tony Blair risque de se heurter à de fortes résistances à cette nouvelle position sur la question nucléaire, notamment en raison de l'opposition de plusieurs députés travaillistes et des Verts.

Souhaitant se désengager du nucléaire, l'Italie est également à revoir sa position dans ce dossier. Dernièrement, la Pologne a annoncé son intention de procéder à la construction de trois réacteurs d'ici 2020. En ce qui les concerne, la Slovénie et la Croatie aimeraient augmenter les fonds accordés à la centrale nucléaire qu'elles partagent actuellement. La Roumanie, la République tchèque, la Slovaquie et la Bulgarie planifient aussi de nouvelles constructions. La Finlande se lance dans de nouveaux projets et la Turquie projette la mise sur pied de deux réacteurs nucléaires pour les années à venir.

D'autre part, la France, dont le nucléaire répond présentement à 78 % des besoins énergétiques du pays, a lancé en septembre dernier un débat public sur les déchets nucléaires. Procédure française inédite, se terminant à la fin de l'année 2006, la Commission particulière du débat public (CPDP) s'entretiendra avec la population sur les différents enjeux liés aux déchets nucléaires.

«Le choix du nucléaire a permis à la France de réduire le niveau des émissions contribuant à l'effet de serre. La France a ainsi l'un des plus bas taux de rejet de gaz carbonique (CO₂) des pays de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE). Ses émissions de carbone à la suite de l'utilisation de l'énergie s'élevaient à 1,68 t par habitant en 2002, contre 2,30 t pour l'Union européenne (dont 2,80 t pour l'Allemagne et 2,44 t pour le Royaume-Uni) et 5,36 t pour les États Unis», soutient la direction générale de l'Énergie et des Matières Premières de la France.

Pourtant, la sécurité énergétique de la France doit passer par «l'abandon du nucléaire grâce à la maîtrise de l'énergie et le développement d'autres moyens de production électrique», selon le Réseau «Sortir du nucléaire» qui rassemble aujourd'hui 722 associations et plus de 14 000 individus. Cette organisation libre et indépendante affirme que «le nucléaire produit peu de gaz à effet de serre, mais il contamine la Terre pour des millions d'années. Il ne faut pas choisir entre la peste et le choléra. Ni nucléaire, ni effet de serre : tel doit être l'objectif d'une politique énergétique responsable».

Lancée à la fin 2003 par le secrétaire général de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), Mohamed ElBaradei, l'approche multilatérale pour la gestion des déchets nucléaires fait progressivement son chemin. L'AIEA a également publié, en octobre 2004, un rapport examinant les possibilités de développer des «sites multinationaux de déchets radioactifs».

Par ailleurs, en septembre dernier, le secrétaire des États-Unis à l'Énergie, Samuel Bodman, a déclaré devant l'assemblée générale de l'AIEA que son pays était prêt à fournir du combustible nucléaire aux pays et à le reprendre lorsqu'il aurait été utilisé. Dès le lendemain, cette proposition fut appuyée par Alexander Rumyantsev, chef de l'Agence russe de l'énergie atomique. Mentionnons que, depuis 2002, la Russie permet l'importation de combustible usé pour le stocker sur son territoire, la Sibérie.

En entrevue le 3 novembre dernier avec Christine Mital du journal Le Nouvel Observateur, Georges Charpak – prix Nobel de physique en 1992 – soutient qu'il faut s'attendre à d'autres accidents nucléaires, mais qu'il faut à tout prix éviter que ces accidents ne dégénèrent en catastrophes planétaires. Coauteur du livre De Tchernobyl en Tchernobyls, en compagnie de Venance Journé du Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (CIRED) et son acolyte physicien Richard L. Garwin de l'Académie des sciences des États-Unis, Georges Charpak a une opinion bien arrêtée sur le sujet des approvisionnements énergétiques.

«Je suis un fanatique des énergies renouvelables, mais elles ne seront jamais à la hauteur de nos besoins. Surtout au moment où des continents entiers comme la Chine et l'Inde entrent dans l'ère du développement. Tant que l'on ne m'aura pas prouvé que l'homme moderne est prêt à revenir à la lampe à pétrole et à la bicyclette, je continuerai à défendre l'énergie nucléaire.»

Or, la communauté internationale doit anticiper l'épuisement prochain des réserves de combustibles fossiles et de plus en plus de pays commencent à miser sur le nucléaire comme source énergétique de l'avenir. Avec des consommations de pétrole de 20 millions de barils par jour pour les États-Unis, de 6,6 millions de barils pour la Chine et de 15 millions de barils pour l'Europe, et des prix au baril ayant atteint 75 dollars US lors des épisodes de Katrina et Rita, le

journaliste américain et auteur du livre *La fin du pétrole*, James Howard Kunstler, prévoit que la période de l'énergie à bon marché tire de plus en plus à sa fin.

1.8 Les causes - globalement

Les causes du réchauffement sont assez clairement identifiées :

– 1) les gaz à effet de serre à l'origine du réchauffement actuel sont émis en premier lieu par les transports autour desquels s'est organisée le mode de vie contemporain (automobile et avion).

– 2) les économies modernes, gloutonnes, épuisent les ressources naturelles du sol et du sous-sol, dévastent les forêts primaires et les sols arables et exterminent la faune sauvage des forêts et des océans sans leur laisser le temps de se régénérer.

Le boum des économies asiatiques accélère le phénomène (la Chine devrait devenir dès 2009 le premier émetteur de gaz à effet de serre devant les États-Unis).

– 3) les paysans du tiers monde (Brésil, Indonésie, Afrique noire,...) ont leur part dans la dégradation de l'environnement car beaucoup pratiquent encore une agriculture extensive, sur brûlis, qui détruit les forêts pour un profit dérisoire.

La démographie, soulignons-le, n'est pas en cause dans le réchauffement climatique. Toutes les régions du monde s'orientent vers une stabilisation, voire une diminution de leur population (Europe)... à l'exception de l'Afrique noire, qui est précisément la région du monde la moins «polluante».

Les ménages les plus prédateurs sont les ménages inféconds des pays riches qui consomment les ressources de la planète sans trop se soucier (et pour cause) des générations futures. Ces sociétés pourraient bien reprendre à leur compte l'expression attribuée à la Pompadour : «*Après nous le déluge !*»

1.9 Les conséquences - globalement

D'ici dix ou vingt ans, si l'on en croit les experts, sans doute sera-t-il trop tard pour enrayer le réchauffement climatique ou du moins s'y adapter sans trop d'à-coups.

En attendant, ses conséquences pourraient, à l'échelle de la planète, se révéler aussi dramatiques pollutions que les dernières guerres mondiales : sécheresses et famines, migrations massives, pénurie de pétrole et flambée des prix, crises économiques et conflits, maladies liées aux etc...

Un économiste britannique, Nicolas Stern, vient même d'en chiffrer le coût à la demande du gouvernement de Tony Blair : 5500 milliard d'euros d'ici 2050, soit autant que les deux guerres mondiales ou la crise de 1929 !

Des groupes de travail, en France et dans le reste du monde, estiment que, pour contenir la catastrophe et limiter l'élévation moyenne de la température à 2 °C d'ici 2050, il faudrait dans un pays comme la France rapidement **diviser par quatre** le total des émissions de carbone.

Cet objectif ne peut s'accommoder d'incantations pieuses...

– Il passe par de fortes augmentations de taxes sur les énergies non renouvelables (carburant,

kérosène, gazole,...), bien évidemment redistribuées sous forme d'allocations aux personnes ou d'aides à l'investissement.

– Il implique une grande détermination politique à la manière de Clemenceau ou Churchill («1) *je fais la guerre* ; 2) *je fais la guerre* ; 3) *je fais la guerre !*»).

La guerre au réchauffement climatique peut-elle être engagée au niveau d'un pays et d'un seul ? Oui, dans un premier temps, de même que l'Angleterre de Churchill a combattu Hitler toute seule pendant un an (1940-1941), préparant le terrain aux Américains et aux Soviétiques. Si l'on suit les économistes comme Nick Stern, cette guerre sera autant stimulante pour l'activité économique que serait déprimant le laissez-aller actuel.

Ainsi serions-nous engagés dans un cercle vertueux, avec l'espoir, qui sait ? de concilier en quelques années sobriété énergétique, bien-être et préservation de l'environnement. Pareil scénario suppose que l'opinion publique et ses dirigeants aient le courage de prévenir un danger avant qu'il ne se manifeste. Dans le passé, cela n'a jamais été le cas (souvenons-nous des années 1930). Pouvons-nous cette fois faire mentir l'Histoire et nous ressaisir avant qu'il ne soit trop tard ?

2. 'Dieu créa le monde, mais les Pays-Bas ont été créés par les Hollandais eux-mêmes.'

Les Pays-Bas portent bien leur nom. Une grande partie du pays se trouve en dessous du niveau de la mer et des rivières. Ainsi toute la province de Noord-Holland, à l'exception des dunes, se trouve entre 1 et 4,5 m sous la mer. Le pays est plat avec des pâturages à perte de vue bordés de saules étêtés, entrecoupés de nombreux canaux, lacs, étangs, ruisseaux et cours d'eau. L'eau couvre un sixième de la surface du pays.

On rencontre ces paysages typiques de polders surtout dans l'ouest des Pays-Bas.

L'histoire des Hollandais a toujours été intimement liée à celle de la mer. Depuis des siècles ils se mobilisent pour se lutter contre l'eau et pour regagner des terres sur la mer.

Les premiers habitants vivaient sur des tertres et remblais pour rester au sec.

Les premières digues ont été construites au 13ème siècle, permettant ainsi de protéger les populations au bord des rivières.

C'est ainsi que vers 1270 Amsterdam est né sous le nom de 'Amstelledamme' (digue sur la rivière Amstel).

Les premiers polders ont vu le jour au 14ème siècle dans le but de récupérer des terres.

Des moulins à vent sont alors utilisés pour pomper l'eau et assécher ainsi des lacs et des marais.

Le premier vrai succès date de 1612 : Leeghwater assèche à l'aide de 40 moulins à vent le lac Beemstermeer au Nord d'Amsterdam.

Ce n'est que le premier d'une longue liste.

En totalité, durant les siècles passés, 7000 km² de terre ont été regagnés sur la mer.

Au 19ème siècle on commence à utiliser la machine à vapeur pour pomper l'eau.

Elle remplace à elle seule plusieurs moulins alignés sans pour autant être tributaire du vent.

Entre 1848 et 1852 on assèche grâce à des machines à vapeur situées dans 3 grandes stations de

pompage un grand lac près de Haarlem. C'est dans ce polder du Haarlemmermeer que se trouve aujourd'hui Schiphol, l'aéroport des Pays-Bas, à 4.5 mètres sous le niveau de la mer.

En 1923 les travaux du Afsluitdijk ont démarrés.

Cette digue de 30 km. de long transforma l'ancien Zuiderzee en un immense lac d'eau douce rebaptisé IJsselmeer.

Dans cette mer intérieure ont été construits 4 polders avec une surface totale de 165000 hectares.

2.1 Assécher un polder, comment ça marche?

Les polders sont des terres entourées de digues qui ont été créées en asséchant artificiellement la mer, un lac ou des marais et dont le niveau est plus bas que l'eau à l'extérieur

L'eau est pompée par un système de canaux, de rigoles et des moulins à vent placés en série.

Lorsque l'eau a disparu, il reste une étendue de boue, dans laquelle on plante des roseaux qui vont terminer l'assèchement et la désalinisation.

Cela peut prendre plusieurs années.

Les terres ainsi obtenues sont excellentes pour la culture et le bétail, mais elles permettent également la construction de villes et de villages.

Le niveau d'eau dans les rigoles est constamment surveillé et régulé.

2.2 Les effets provoqués par le réchauffement climatique sur l'environnement

Certains modèles vont même jusqu'à prévoir qu'une augmentation de 1% par an de la teneur atmosphérique en CO₂ pendant 100 ans entraînera une coupure nette de la circulation thermohaline. Un autre modèle conclut qu'avec une augmentation de 1% par an, la coupure se produira lorsque la teneur atteindra 4 fois la teneur de base (280 ppm). Rappelons-nous que le taux d'augmentation de la teneur en CO₂ atmosphérique a été en moyenne de 1,5 ppm (0,4%) par année durant les deux dernières décennies.

Le dernier rapport d'évaluation de l'IPCC présente une liste de changements probables à ce niveau liés au réchauffement planétaire.

- * Des maxima de température plus élevés et un plus grand nombre de jours chauds dans pratiquement toutes les zones continentales.
- * Des minima de température plus élevés, moins de jours froids et de jours de gel dans pratiquement toutes les zones continentales.
- * Des écarts de température réduits dans la plupart des zones continentales.
- * Une augmentation de l'indice de chaleur (une combinaison température-humidité qui mesure les effets sur le confort des humains) dans la plupart des zones continentales.
- * Un plus grand nombre d'événements extrêmes au niveau des précipitations.
- * Une augmentation de l'assèchement estival continental, entraînant une augmentation des risques de sécheresse.

- * Une augmentation dans l'intensité des vents de pointe des cyclones tropicaux.
 - * Une augmentation des moyennes et des maxima de précipitations reliées aux cyclones tropicaux.
- Plusieurs de ces changements ont déjà été observés et même quantifiés dans certains cas durant la dernière moitié du 20ème siècle. Les changements 1 à 5 sont qualifiés de très vraisemblables (probabilité de 90 à 99% qu'un énoncé soit vrai), les autres, de vraisemblables (probabilité de 66 à 90%) pour le 21ème siècle.

2.3 Le réchauffement a pour victime potentielle les Pays-Bas

Selon des études réalisées par le service national de météorologie, les Pays-Bas risquent de subir une élévation de **15 à 35 centimètres** du niveau de la mer **d'ici 2050**.

Les instituts météorologiques prévoient une hausse de la température moyenne aux Pays-Bas **d'un à deux degrés d'ici 2050** par rapport à 1990, ainsi que des hivers plus humides.

Une des conséquences à laquelle on pense en premier lieu lorsqu'on invoque un réchauffement planétaire est la montée du niveau des mers, avec ses effets néfastes sur les terres basses côtières (inondations, vulnérabilité aux tempêtes), comme les Pays-Bas ou les grandes plaines deltaïques (Bangladesh, Louisiane, etc.). Cette montée des eaux est le plus souvent attribuée à la seule fonte des calottes glaciaires.

L'histoire des derniers 140 milliers d'années nous apprend que les fluctuations du niveau des mers se sont faites au gré des alternances de stades glaciaires et interglaciaires, avec des chutes atteignant les -135 mètres.

Les chercheurs évaluent que le niveau marin s'est élevé de 12 cm depuis 1880. Il n'est pas simple d'évaluer cette élévation puisque la croûte terrestre n'est pas stable partout: dans une grande partie du Canada et de l'Europe, la croûte se soulève à cause du réajustement isostatique suite à la dernière glaciation, alors que dans certaines zones comme les zones deltaïques, elle s'abaisse à cause du poids des sédiments. Cette élévation progressive de 12 cm depuis 1880 est concordante avec le réchauffement observé. Deux facteurs sont à considérer quand on cherche à cerner les causes d'une élévation du niveau marin: la fonte des glaces, bien sûr, mais aussi la dilatation thermique des eaux océaniques. En fait, on évalue que près de la moitié de l'élévation a été causée par la dilatation des eaux de la couche supérieure de l'océan reliée à leur réchauffement. Le réchauffement des eaux de l'océan profond causera aussi une montée du niveau marin, mais cette fois à beaucoup plus long terme, compte tenu que la circulation thermohaline est beaucoup plus lente. On a calculé qu'un réchauffement de 0,5°C des eaux de surface (le réchauffement depuis 1880) ont entraîné, par dilatation, une élévation de 5 cm. Les autres 7 cm de la montée des eaux depuis 1880 correspondent à la fonte des glaciers de montagne. Par exemple, on a observé des retraits importants de glaciers dans les Alpes durant les deux derniers siècles et plusieurs glaciers des Andes retraitent rapidement présentement. On peut donc s'attendre à ce que la fonte des glaciers de montagne contribue à gonfler l'eau des océans dans un proche avenir.

2.4 Les conséquences du réchauffement climatique sur les Pays-Bas

Hivers plus chauds et arrosés, étés plus secs mais avec des pluies violentes: le **réchauffement climatique** est de mauvais augure pour les Pays-Bas, dont 60% du territoire est sous le niveau de la mer, selon des scénarios présentés le mardi par l'Institut météorologique royal.

Globalement, les quatre scénarios à échéance 2050 présentés par l'Institut (KNMI) sur le port de La Haye, Scheveningen, considèrent que le réchauffement de la planète va se poursuivre, que le niveau des mers et océans va monter, ce qui se traduira aux Pays-Bas par des températures plus douces toute l'année.

Nous devons nous tenir prêts à faire face au changement climatique", a déclaré à la presse la secrétaire d'Etat au Transports et à la Gestion de l'eau, Melanie Schultz van Haegen.

Actuellement, les Pays-Bas se protègent de la mer grâce à des centaines de kilomètres de digues et de barrages. Ils ont aussi inventé le polder, des terres récupérées sur l'eau.

Une élévation du niveau de la mer de 35 cm en 2050, comme le prévoient certains scénarios, est en soit inquiétante, a expliqué Mme Schultz van Haegen, mais la sécheresse estivale l'est tout autant car les digues ont besoin de rester humides pour tenir leur rôle. En 2003, certaines ont craqué lors d'un été particulièrement sec.

Le KNMI a assuré avoir écarté les pires scénarios. "Avec ces quatre scénarios, il y a de bonnes chances que ce qui se passera d'ici à cinquante ans soit dans le domaine du prévisible", a expliqué le directeur de l'institut, Frits Brouwer. "Nous ne pouvons pas vraiment dire que les Pays-Bas doivent se préparer, en terme de gestion des eaux, aux possibilités les plus extrêmes".

Le système actuel de digues est conçu pour protéger le pays contre une inondation comme il ne s'en produit statistiquement que tous les 10.000 ans.

En février 1953, une inondation dans le sud-ouest du royaume a fait plus de 2.000 morts, à la suite de quoi les Pays-Bas ont développé le Projet Delta, un ensemble de digues et de barrages d'une ampleur inégalée dans le monde.

L'impact du [réchauffement climatique](#) ira au-delà des seules inondations, a averti la secrétaire d'Etat.

La demande d'énergie serait plus faible durant des hivers plus doux. L'agriculture pourrait aussi bénéficier de cette clémence, mais des sécheresses estivales auraient des effets contraires, tandis qu'une baisse de la force des vents, prédite par certains scénarios, paralyserait les parcs d'éoliennes. Mme Schultz van Haegen a souligné que des pays européens coopéraient en matière de gestion des eaux fluviales, dans le cadre du changement climatiques.

Les Pays-Bas comptent des deltas importants comme celui du Rhin ou de la Meuse, venant respectivement d'Allemagne ou de [Belgique](#), et une sécheresse ou une crue soudaines de ces cours d'eau les affecteraient.

"Nous espérons qu'en juin (200.? Année??), l'Union européenne va présenter un nouveau plan +hautes eaux+, une initiative franco-néerlandaise pour s'assurer que les terres situées à basse altitude ne récupèrent pas tous les problèmes", a-t-elle expliqué.

"Nous ne pouvons pas empêcher la fonte de la calotte glaciaire, mais si nous travaillons ensemble, nous pouvons éviter que les Pays-Bas ne deviennent le tuyau d'écoulement de l'Europe", a-t-elle ajouté.

Le KNMI a infligé un coup à la psyché néerlandaise, en affirmant que l'avenir de la légendaire épreuve de patinage sur canaux naturellement gelés, Elfstedentocht, disputée sur 200 kilomètres à travers onze village de Frise, dans le nord-ouest du pays, était compromis.

Faute de glace assez solide, il n'y a pas eu d'épreuve depuis celle de 1997, qui avait rassemblé 16.000 participants. Mais chaque hiver, la frénésie s'empare du pays, les journaux télévisés montrant quotidiennement le "maître de la glace" testant la surface. Bientôt un rituel appartenant au passé, selon le KNMI.

Pour le siècle à venir, l'IPCC prévoit que:la couverture neigeuse et le couvert de glaces océannes de l'hémisphère nord vont encore diminuer. Les glaciers de montagne et les calottes glaciaires vont continuer à fondre.

Par contre, le volume de la calotte de l'Antarctique devrait plutôt augmenter à cause de

précipitations plus importantes reliées au réchauffement atmosphérique, tandis qu'au contraire, celui de la calotte du Groenland devrait diminuer à cause d'une augmentation de la fonte et du ruissellement dépassant le volume des précipitations, l'hémisphère nord demeurant plus chaud que l'hémisphère sud.

Conséquemment, le niveau marin devrait connaître une élévation se situant entre 9 et 88 centimètres, selon le scénario impliqué, à cause de la dilatation thermique de l'océan supérieur et de la fonte des glaces. Il s'agit là d'une élévation moindre que celle qui avait été prévue dans le 2ème rapport d'évaluation (1995), l'amélioration des modèles ayant minimisé la contribution de la fonte des glaces.

2.5 L'impact sur les écosystèmes

Les différents types de plantes ont différents mécanismes de fixation du carbone, ce processus qui fait que durant la photosynthèse le CO₂ est converti en carbone organique. Sans entrer dans les détails, disons que pour certaines plantes, ce mécanisme passe par la synthèse de composés à trois atomes de carbone. C'est ce qu'on appelle la photosynthèse C₃ qui implique les plantes dites plantes C₃. Il y a aussi la photosynthèse C₄, impliquant des composés à quatre atomes de carbone, et conséquemment les plantes C₄ (maïs, canne à sucre, pâturages). Les plantes C₄ sont capables de photosynthétiser à des teneurs atmosphériques de CO₂ bien inférieures à celles qui sont nécessaires pour les plantes C₃, mais aussi, elles répondent plus mal que les plantes C₃ à une augmentation des teneurs en CO₂; ce qui implique que dans un scénario d'augmentation du CO₂ atmosphérique certaines cultures seront défavorisées par rapport à d'autres.

Au sein même du monde des plantes C₃, différents types de plantes répondront de façons différentes aux changements de température et de taux d'humidité qui accompagneront les variations de teneurs en CO₂. Ainsi, certaines espèces d'arbres supportent mieux les augmentations de température et de teneurs en CO₂ que d'autres. Par exemple, le pin et le bouleau supportent bien les teneurs élevées en CO₂, alors que le tremble et l'épinette dépérissent quand les températures deviennent trop chaudes. En somme, sans entrer dans les détails, on peut dire que l'abondance relative et la distribution de certaines espèces de végétaux dans un écosystème donné risquent d'être modifiées par un réchauffement planétaire, avec ce que cela implique sur les autres végétaux et la vie animale.

Les changements de température provoquent un déplacement des limites entre les zones de température et conséquemment de la migration des espèces dont la répartition géographique est contrôlée par la température. Ainsi on pourrait assister à la migration d'insectes nuisibles aux cultures ou tout simplement aux humains aujourd'hui confinés aux zones tropicales vers les zones tempérées actuelles, élargissant leur territoire de façon substantielle (exemple, l'insecte vecteur de la malaria qui ne peut supporter les hivers froids). La rapidité avec laquelle les changements de température se font pourront aussi avoir une influence. Certaines espèces pourraient ne pas avoir la rapidité de réaction suffisante (reproduction, colonisation) pour suivre le changement et carrément disparaître.

Dans le domaine marin, un réchauffement des eaux de la tranche de surface peut affecter la vie benthique. Les coraux en sont un bon exemple. La fameuse maladie blanche qui affecte actuellement les récifs coralliens est considérée comme étant reliée au réchauffement de l'eau. Les coraux expulsent leur symbionts algaires (zooxanthelles) et se voient ainsi dépérir (voir Vers une nouvelle décimation s4/decimation.coraux.html). On évalue aujourd'hui que 20% des récifs

coralliens ont été détruits et que 40% sont en danger, par diverses causes dont le réchauffement des eaux superficielles.

2.6 L'impact sur la circulation de l'océan global (circulation thermohaline)

On a vu plus que la circulation de l'océan global forme une boucle qui prend son origine dans l'Atlantique-Nord où les eaux froides (refroidies par les vents froids du Canada), salées, denses et bien oxygénées plongent vers les profondeurs. Il s'agit d'un cycle de 1000 ans environ. C'est cette plongée des eaux froides et denses de l'Atlantique-Nord qui constitue en quelque sorte le moteur de cette circulation en boucle. C'est la remontée locale (upwelling) de ces eaux froides riches en nutriments qui alimentent le plancton en surface et qui contribuent ainsi à la forte productivité biologique marine dans certaines régions, par exemple au niveau des pêcheries, comme sur les Grands Bancs de Terre-Neuve ou les côtes du Pérou. C'est aussi cette circulation thermohaline (i.e., reliée aux gradients de température et de salinité) qui redistribue la chaleur.

Un ralentissement, ou à la limite un arrêt, dans le transport des masses d'eau océaniques aura certes une influence néfaste sur la ressource halieutique et les climats en général. L'effet El Niño est un bon exemple de l'interrelation climat-circulation océanique-ressources marines. Un tel ralentissement peut être causé, au point de départ de la boucle, par un réchauffement des eaux de surface dans l'Atlantique-Nord et par une diminution de leur salinité par la fonte des glaces du Groenland et de l'Arctique.

Le graphique qui suit montre, à partir de plusieurs modèles, que déjà la circulation thermohaline décline depuis quelques décennies et que, sauf pour deux modèles, cette diminution ira en s'accroissant. Le zéro de base correspond à la moyenne des années 1961-1990.

3. Le rude défi du changement climatique pour les Pays-Bas

3.1 Rendre les Pays-Bas à l'eau? :

Fin janvier 1995, il y a un peu plus de dix ans déjà. Ce qui était dans l'air depuis des jours est annoncé officiellement: l'évacuation obligatoire de l'Ooijpolder et du Millingerwaard, deux polders voisins, à l'est de Nimègue, près du lieu où le Rhin pénètre aux Pays-Bas.

Les excédents d'eau de fonte combinés aux excédents d'eau de pluie ont, depuis un certain temps déjà, provoqué une montée des eaux fluviales à un niveau extrêmement élevé. Surintendants des digues, maires, et gouverneur de la province en viennent à la conclusion, après mûre réflexion, que la sécurité derrière les digues ne peut être assurée. Des dizaines de milliers de personnes doivent être évacuées. Agriculteurs et entreprises doivent aussi partir avec tous leurs biens, sur ordre de la police. Les routes et chemins du polder en direction

de Nimègue deviennent des voies d'évacuation dans un seul sens: vers une zone plus élevée. A Nimègue et dans un large périmètre, des centres d'accueil d'urgence sont installés dans des gymnases, mais la grande majorité des personnes évacuées trouvent refuge chez des proches, des amis, des connaissances ou des citoyens compatissants. Au total, plus de 200 000 personnes doivent quitter leur maison. Nous-mêmes accueillons les parents d'un collègue, un couple à la retraite. En quarante ans de vie commune, ils ne sont pratiquement jamais sortis de chez eux. Les voilà qui arrivent chez nous comme des réfugiés, avec pour tout bagage des vêtements glissés à la hâte dans des sacs en plastique. Ensemble, nous vivons une semaine au rythme de la radio

locale, de toutes les chaînes de télévision captables, de l'évolution du niveau des eaux et de la direction du vent, des communiqués diffusés par les autorités et des témoignages d'autres personnes déplacées. Au bout d'une semaine, les eaux refluent et les autorités rendent la zone à la libre circulation. CNN rend même compte de la manière ordonnée dont s'est effectuée l'évacuation, de la discipline et de la solidarité dont les Pays-Bas ont fait preuve face à ces risques d'inondations. Le pays tout entier a montré qu'il possédait d'autres qualités encore que le «modèle des polders» si vanté alors.

Aussi poignante qu'ait pu être l'évacuation, celle-ci apparaît pourtant, dix ans plus tard, comme un fait divers. Aux Pays-Bas, deux débats ont immédiatement surgi: une discussion technique sur le point de savoir s'il était vraiment nécessaire de faire évacuer les lieux, débat qui n'a évidemment reçu aucune conclusion permettant de trancher, et une discussion sur les raisons pour lesquelles les digues n'avaient pas été rehaussées et renforcées bien plus tôt, débat au cours duquel on a accusé les milieux écologistes et les innombrables règles de procédure. En bref, la protection de l'environnement était le bouc émissaire. En un temps record, le gouvernement a fait passer une nouvelle législation et un plan national de renforcement des digues a été approuvé, financé et exécuté. La première tranche de travaux consistait à renforcer ou aménager 300 kilomètres de digues et de quais. La seconde tranche portait sur la réalisation jusqu'en l'an 2000 de près de 500 kilomètres de digues supplémentaires. Un grand chantier politique, financier, organisationnel et logistique en vérité. Par analogie avec le Plan Delta mis en oeuvre pour protéger la côte après l'inondation catastrophique de 1953, ce plan a reçu le nom de Plan Delta des grands fleuves. Dans leur lutte séculaire contre les eaux, les Pays-Bas ont montré une nouvelle fois leur force. Tout risque de négligence était désormais écarté, et tout danger, grâce à ce renforcement des digues, désormais conjuré.

3.2 Ce n'est pas un hasard s'il y a de l'espace pour les fleuves!

Une fois apaisée la mobilisation sociale autour de l'évacuation et du nouveau Plan Delta, d'autres discussions pouvaient avoir lieu. Divers spécialistes ont indiqué qu'il ne s'agissait nullement d'un épiphénomène mais des signes avant-coureurs d'un changement bien plus profond : le réchauffement climatique et ses effets encore difficilement prévisibles sur le bilan en eau. Ces derniers temps, le message a fait son chemin aux Pays-Bas dans la communauté scientifique, dans le monde politique et dans l'univers des ingénieurs chargés de la gestion de l'eau. Consécutivement, deux sortes de problèmes hydrologiques se sont dégagés : celui des débordements des cours d'eau et celui de l'élévation attendue du niveau de la mer. Le premier problème est sérieux et se pose à court terme. Le second est encore plus sérieux et se pose à plus long terme.

Quant à savoir dans quelle mesure l'évolution du climat avait joué un rôle dans les crues de janvier 1995, nombre de spécialistes ont été d'accord pour penser qu'il ne s'agissait pas d'un événement isolé. L'hiver précédent, en décembre 1993, la Meuse était sortie de son lit. Au fur et à mesure que la liste des crues s'allongeait, les niveaux étaient plus élevés à chaque fois. En outre, les chiffres mettaient en évidence des hivers de moins en moins rigoureux mais de plus en plus humides. Cela ne valait pas seulement pour les Pays-Bas mais pour l'ensemble des réseaux hydrographiques dont le pays constitue l'aboutissement: celui du Rhin surtout, et dans une moindre mesure ceux de la Meuse et de l'Escaut. Toutes les prévisions indiquaient qu'il fallait s'attendre à une augmentation des quantités d'eau à évacuer.

Aussi, de nombreux gestionnaires de l'eau ont-ils fini par penser que surélever en permanence les digues et les quais et renforcer les défenses contre des masses d'eau croissantes était un combat sans fin et perdu d'avance. De plus, par excès de confiance dans la technologie, on avait construit les digues trop près de l'eau et autorisé juste derrière des activités non seulement agricoles mais aussi résidentielles, de loisirs, industrielles, de transport et de tourisme. Un tel

aménagement avait deux conséquences : l'une physique et l'autre économique. La conséquence économique était que, en cas d'inondation ou de risque d'inondation, les dommages (éventuels) seraient plus importants. L'incitation était donc d'autant plus forte pour construire une digue encore plus haute. Mais la conséquence physique de toutes ces constructions était que les fleuves se retrouvaient canalisés dans un lit trop étroit, avec peu de possibilité de recevoir soudainement de plus grandes quantités d'eau. Qui plus est, les différentes agglomérations, villes ou villages, formaient un goulet d'étranglement pour les fleuves. Ces goulets étaient Nimègue sur le Waal, Zutphen sur l'IJssel, Maastricht et les villages alentour sur la Meuse. Le Rijkswaterstaat – le puissant bastion d'ingénieurs des Pays-Bas pour la gestion de l'eau, plus ancien et sans doute plus puissant que l'État néerlandais lui-même – a donc choisi de réviser sa stratégie: au lieu de corseter toujours plus les fleuves, il fallait justement leur fournir plus d'espace. L'abaissement et le déplacement des digues permettait aux terrains bas de redevenir inondables et aux polders de retenir temporairement, comme dans le passé, les excédents d'eau. N'était-ce pas, au demeurant, leur «fonction naturelle»? avançaient les ingénieurs pour légitimer leur volte-face: au lieu de «domestiquer» l'eau, il fallait «vivre avec l'eau». Au lieu de la «technologie» du génie hydraulique, il fallait de l'«espace» pour la gestion de l'eau. L'idée paraît simple, mais dans un pays aussi densément peuplé que les Pays-Bas, où les prétentions pour s'approprier un espace rare sont multiples, elle n'allait assurément pas de soi.

Certaines zones, dont le Millingerwaard évacué en 1995, il faut le souligner, devaient servir à la rétention et à l'écêtement des crues. Du moins sur le papier, car ce plan a rencontré une telle hostilité de la part des habitants et des entreprises, que le gouvernement a dû discrètement l'abandonner à l'exception de quelques zones plus modestes et moins peuplées, comme l'Oostpolder en Frise. Des négociations ont été entamées avec la Belgique et l'Allemagne pour que des zones de rétention des crues soient aménagées dans ces pays, en amont des zones fortement peuplées et menacées aux Pays-Bas. En Allemagne, de nombreux projets ont vu le jour, à différents endroits, afin de fournir plus d'espace au Rhin et de favoriser par la même occasion les aménagements naturels. Quelques villes néerlandaises travaillent également d'arrache-pied à des systèmes de dérivation: la réimplantation des digues et des quais offre plus d'espace aux fleuves pour traverser les villes. Mais les expropriations et les travaux nécessaires coûtent très cher, dans des centres urbains où le prix du foncier est élevé et la densité d'infrastructures importante. Pour la seule ville de Nimègue, une telle opération est estimée à quelque 250 millions d'euros.

3.3 Changement climatique

Le changement climatique est, avec les dommages pour la biodiversité qu'il implique, le problème écologique majeur du moment dans le monde. Mais c'est également une question controversée, tant d'un point de vue social que politique. La controverse scientifique ne porte pas (ou plus) sur le point de savoir si le changement climatique est ou non une réalité. Il y a maintenant un large consensus à cet égard. Il s'agit plutôt de déterminer dans quelle mesure le comportement de l'homme, avec en particulier l'émission de gaz à effet de serre, est co-responsable de ce changement. Le désaccord apparaît bien plus politique que scientifique d'ailleurs. Si le changement climatique, en effet, était une simple variation «naturelle» du climat, nous n'aurions pas besoin de changer quoi que ce soit à la façon immodérée dont nous traitons la nature, l'environnement et l'énergie. Le gouvernement américain opte surtout pour un scénario dans lequel tout continue comme si de rien n'était et a donc pris ses distances avec les premières réalisations bien modérées des accords de Kyoto. Ces derniers visent à long terme à réduire dans une large proportion les émissions de gaz à effet de serre, notamment de CO₂. Ils ne sauraient inverser la tendance, mais ils

peuvent sans doute tempérer l'importance du changement climatique et surtout l'ampleur et la gravité de ses conséquences.

Quand on parle de changement climatique, on songe immédiatement à l'élévation des températures. C'est le phénomène le plus parlant. Depuis le début du XXe siècle, la température moyenne en Europe a augmenté d'environ 1° C, bien plus que les fluctuations climatiques «naturelles» au cours des 1000 ans précédents. En outre, l'Europe a connu au cours des 14 dernières années ses 8 années les plus chaudes depuis que des relevés sont effectués (1850). Les statistiques nationales offrent un tableau identique, même si certains présentateurs (ou présentatrices) de la météo dans les médias populaires se refusent toujours à établir un lien avec le réchauffement de la planète. On peut s'attendre à ce que cette tendance se renforce au cours des cent prochaines années. En Europe, l'augmentation moyenne des températures à la latitude nord des Pays-Bas devrait se situer au XXIe siècle entre 1,7 et 4,9° C en hiver et entre 2,4 et 6,6° C en été. Ce réchauffement devrait également s'accompagner d'une augmentation des précipitations pouvant aller jusqu'à 25 %.

Les conséquences précises de tels bouleversements sont encore difficiles à établir avec certitude. Par ailleurs, ces répercussions varieront selon les régions, à l'échelle de la planète bien entendu, mais aussi de l'Europe. Il est en tout cas certain qu'elles concerneront presque tous les domaines de la vie et de la société. D'une manière directe pour la nature et l'agriculture, ainsi que pour la santé. De manière indirecte pour la répartition des atouts économiques, pour les flux migratoires, pour les infrastructures, etc. De très nombreux organismes scientifiques, à l'échelle mondiale ou locale, étudient toutes ces conséquences attendues et les mesures qui s'imposent.

3.4 Élévation du niveau de la mer : les chiffres et les conséquences

Pour les Pays-Bas, une seule conséquence du réchauffement climatique est pertinente, voire d'une importance vitale: l'élévation prévisible du niveau de la mer. Qui connaît tant soit peu la géographie des Pays-Bas, sait que 35 % environ de la surface du pays sont situés au-dessous du niveau de la mer. Durant des siècles, les Pays-Bas ont, grâce aux digues et aux polders, gagné petit à petit du terrain sur la mer. Cette lutte a connu des défaites, de l'inondation de la Sainte-Élisabeth en 1421 à celle de 1953. Mais elle a aussi engendré des merveilles d'ingéniosité, de technologie et d'organisation, le dernier exemple en date étant le barrage anti-tempête de l'Escaut oriental. Les Pays-Bas ne peuvent se comprendre sans cette relation amour-haine existentielle, il n'y a pas d'autre mot, avec l'eau. Comme cette compréhension, en ces temps de superficialité, risque de faire défaut, y compris chez les Néerlandais eux-mêmes, des panneaux indiquant la «véritable ligne de côte» ont été installés à de nombreux endroits dans la partie occidentale du pays, une zone qui, sans les digues et les polders, serait envahie par la mer et qui est située grosso modo à l'ouest d'une ligne reliant Groningue à Goes. En outre, si l'on faisait abstraction des digues fluviales, les 2/3 des Pays-Bas seraient sous l'eau. Compte tenu de ce contexte géographique, le réchauffement climatique, et surtout l'élévation du niveau de la mer, prennent une importance toute particulière.

Il est généralement admis que le XXIe siècle va connaître une élévation absolue du niveau des mers de 10 à 90 cm. Cette élévation est provoquée par le réchauffement de l'eau elle-même (et l'expansion thermique qui en résulte) et par la fonte des glaciers et des glaces continentales, notamment celle de la calotte glaciaire du Groenland pour la partie de l'hémisphère nord qui nous concerne. Avec l'abaissement progressif du niveau du sol aux Pays-Bas, du fait de l'assèchement et du tassement, on obtient une élévation relative du niveau de la mer entre 20 et 120 cm à l'horizon 2100. En d'autres termes, ce ne sont pas 35 % de la surface des Pays-Bas mais 65 % qui se retrouveront sous le niveau de la mer. Le phénomène concerne surtout l'ouest du pays, notamment les provinces à forte densité de population de Hollande-Méridionale et de Hollande-Septentrionale, avec l'aéroport de Schiphol ainsi que le port de Rotterdam et tout son arrière-pays.

Bref, le coeur démographique et économique des Pays-Bas est menacé par le réchauffement climatique.

3.5 Élévation du niveau de la mer : les scénarios

Nul doute que des prévisions à si long terme (2100) sont entachées de grandes incertitudes. Mais la tendance est nette. Aussi un débat s'est-il instauré aux Pays-Bas sur la portée de ces prévisions pour l'avenir de la nation. Une partie de la discussion transparait également dans la politique: dans les rapports les plus récents sur la politique de l'eau au XXI^e siècle, outre la grande place consacrée à l'évacuation des quantités toujours plus abondantes des eaux fluviales et aux révisions stratégiques à cet égard, une attention croissante et prudente est accordée à la politique côtière. Mais au-delà de la politique, pour laquelle l'horizon 2100 est bien trop lointain, scientifiques et ingénieurs tentent de formuler des questions et d'envisager des réponses possibles. Du reste, il ne s'agit pas seulement d'organismes publics ou de chercheurs ou d'experts rémunérés par des fonds publics. Les banques et les compagnies d'assurances, en premier lieu, s'intéressent de près aux scénarios concernant l'avenir des Pays-Bas dans un monde transformé par les conditions climatiques.

Un scénario proposé par l'Universiteit van Amsterdam notamment, sous le titre évocateur de Neo Atlantis, a suscité l'inquiétude. Les chercheurs sont partis de l'hypothèse d'une élévation progressive du niveau de la mer de 10 cm au total accompagnée d'une augmentation des tempêtes et des risques d'inondation jusqu'en 2030, puis d'une montée plus rapide du niveau des océans après 2030 jusqu'à 1 à 2 mètres, voire 5 mètres en 2100 au-dessus de l'actuel niveau de la mer. La «bête», la mer en l'occurrence, se déchaîne alors et, en combinaison avec d'autres aspects du changement climatique, rend les régions côtières bien peu hospitalières. Selon un tel scénario, issu de divers ateliers, études et autres méthodes d'étude et de prévision éprouvées, il est possible dans un premier temps, jusqu'à la moitié du siècle environ, de renforcer et de rehausser les dunes et les digues de protection. Du point de vue technique et logistique, il n'y a aucun obstacle, mais les coûts risquent de peser peu à peu sur la société. Surtout si ces coûts sont mis en balance avec l'évolution prévue du produit intérieur brut. Il apparaît alors clairement que leur part relativement constante jusqu'ici (moins de 0,5 %) entame rapidement les moyens collectifs (jusqu'à 4 % du PIB). Puis viennent des questions passionnantes, qui dépassent de loin le cadre technique et économique: l'économie néerlandaise peut-elle supporter ces coûts? Les entreprises ne quitteront-elles pas le territoire des Pays-Bas, amoindrissant ainsi le potentiel économique du pays? Les Pays-Bas sont-ils prêts à supporter ces coûts? Cela vaut-il pour l'ensemble des Pays-Bas?

En d'autres termes, le pays pourra-t-il déployer la combativité (*luctor et emergo*, je maintiendrai) et la solidarité nationale qui lui ont permis dans le passé de sortir le pays de l'eau et de le développer? Ou y aura-t-il d'autres modèles de solidarité ou au contraire de désolidarisation: solidarité des «habitants des hautes terres» qui savent que leurs terrains et leurs biens sont audessus du niveau de la mer et gagnent en valeur du fait de leur rareté et qui ne sont peut-être pas prêts à aider les «habitants des basses terres» en détresse? Ce sont pour une bonne part des questions spéculatives sur les conséquences économiques, politiques et culturelles du changement climatique et de l'élévation du niveau de la mer et des réactions à ces deux phénomènes. Les chercheurs n'y répondent pas véritablement, mais en viennent à la conclusion que, dans ce scénario, de grandes parties du nord et du sud-ouest des Pays-Bas devront être rendues à la mer: Neo Atlantis donc.

Lorsque Neo Atlantis a fait l'actualité dans les médias en mars 2005, les chercheurs du secteur public se sont empressés de mettre en avant le caractère infondé du scénario sur le plan scientifique. Pour la dramatisation, cela était peut-être utile, mais pour la discussion il est dommage que Neo Atlantis ait pris comme base de départ une élévation aussi extrême du niveau

des océans. Il n'était sans doute pas nécessaire de s'écarter autant des prévisions de hausse de niveau généralement admises par la communauté scientifique internationale. En revanche, Neo Atlantis a posé les bonnes questions. En premier lieu celles qui concernent les limites des possibilités technologiques de se protéger contre la montée du niveau des mers, questions qui, pour une nation aussi fière que les Pays-Bas en matière de lutte contre les eaux, ne vont pas de soi. Mais plus pressantes encore sont les questions sur ce qu'un pays peut économiquement supporter et les limites de ce qui sera accepté par la société.

Par rapport aux changements que les Pays-Bas connaîtront dans le domaine de l'eau, la quasi-inondation et évacuation des eaux en 1995 est en effet un fait divers. En même temps, cette simple semaine a montré à petite échelle les questions auxquelles les Pays-Bas devront répondre à grande échelle au XXI^e siècle. Et les scénarios qui valent pour les Pays-Bas vaudront aussi en partie pour tous les pays de basses terres en Europe et dans le monde.

3.6 Le Plan Delta

Le Plan Delta, aujourd'hui achevé, diffère sur trois grands points des projets originaux :

- l'estuaire de l'Escaut oriental est fermé par un barrage anti-tempête à vannes et non par un barrage d'un seul tenant ;
- de ce fait, deux barrages secondaires ont dû être construits dans la partie orientale du Delta (le Philipsdam et l'Oesterdam) pour permettre la formation de réservoirs d'eau douce ;
- dans le Nieuwe Waterweg, le canal qui relie le port de Rotterdam à la mer du Nord, un barrage anti-tempête a été construit en complément du renforcement des digues.

Les Travaux du Zuiderzee sont également achevés, mais Markerwaard n'a pas été asséché. Seule a été construite la digue qui devait constituer la limite nord-est du polder, entre Lelystad et Enkhuizen, entraînant ainsi la formation du lac de Marken.

La mer des Wadden n'a pas non plus été asséchée, le projet ayant d'ailleurs été entièrement abandonné depuis.

Dans presque tous les cas, les changements apportés aux projets initiaux procèdent d'une même et unique préoccupation, celle, fortement accrue, de la protection de la nature et de l'environnement. Lorsque la mise en œuvre du Plan Delta fut lancée, très vite après les inondations de 1953, tout le monde n'avait qu'un seul objectif en tête : accroître le plus rapidement possible la sécurité de la région pour éviter qu'une telle catastrophe ne puisse se reproduire. Le Plan présentait un certain nombre d'avantages complémentaires, tels que l'amélioration des liaisons routières, une salinisation moindre des terres agricoles, la possibilité de créer de vastes réservoirs d'eau douce et le développement des loisirs de plein air. Le Plan présentait aussi un certain nombre d'inconvénients, en particulier pour la nature et la pêche, mais on ne s'en préoccupait guère, à l'exception peut-être de quelques mesures compensatoires pour les pêcheurs.

C'est dans le courant des années soixante que l'intérêt pour la protection de la nature s'est très rapidement développé. La publication, en 1972, de l'Atlas environnemental du sud-ouest des Pays-Bas fit prendre conscience de la grande richesse et de la diversité biologique de la région du Delta, depuis toujours lieu de rencontre entre la terre et l'eau, la mer et les fleuves, l'eau douce et l'eau salée. Or, la mise en œuvre du Plan Delta et surtout la disparition subséquente du marnage et de la présence d'eau salée ou saumâtre dans les bras de mer devaient causer des dommages irréparables à

l'environnement. C'est en 1972 également que fut achevé le deuxième plus grand barrage du Plan le Brouwersdam, et que furent entamés les travaux de construction du barrage dans l'Escaut oriental qui, avec ses huit kilomètres de long devait marquer l'achèvement du Plan Delta, prévu en 1978, soit vingt-cinq ans exactement après les inondations qui en avaient déclenché la mise en œuvre.

Entre-temps s'était toutefois engagé un large débat, souvent passionné, sur les avantages et les inconvénients de la fermeture complète de l'Escaut oriental. Les pêcheurs et les ostréiculteurs du bassin oriental de l'Escaut oriental, ainsi que les écologistes s'opposèrent vivement à la construction du barrage, plaidant pour le renforcement de la sécurité par l'exhaussement de toutes les digues le long des côtes des îles de Zélande. Mais les habitants de la région redoutaient qu'une telle mesure ne garantisse pas suffisamment leur sécurité ; quant aux paysans et aux compagnies des eaux, ils s'opposaient à l'idée que l'eau du bras de mer reste salée. C'est ce qui amena le gouvernement à opter en 1974 pour une solution de compromis : la construction d'un barrage anti-tempête composé de soixante-deux vannes d'acier. Ce barrage fut inauguré en 1986, c'est-à-dire avec huit ans de retard par rapport au plan initial. Depuis, les vannes, qui sont normalement toujours levées pour permettre le mouvement des marées, ont dû être fermées en moyenne deux fois par an pour protéger les terres contre les inondations lors de violentes tempêtes.

La décision de 1974 peut être considérée comme un virage dans l'histoire des travaux hydrauliques aux Pays-Bas. Elle fut en effet la première d'une série de décisions en faveur de la protection de la nature et de l'environnement. C'est ainsi que le lac de Grevelingen et le lac de Veere deux bras de mer fermés de deux côtés par des barrages sont redevenus salés par l'adduction d'eau de mer, mais sans être soumis au mouvement des marées, alors que le Plan Delta prévoyait à l'origine l'adoucissement progressive de leurs eaux. Et aujourd'hui, c'est le barrage du Haringvliet qui suscite un nouveau débat. Normalement, les dix-sept écluses de décharge de ce barrage, achevé en 1971, sont fermées. Ce n'est que lorsque le niveau des eaux des fleuves atteint la cote d'alerte qu'on les ouvre pour évacuer les eaux excédentaires dans la mer du Nord. Le Haringvliet est ainsi devenu peu à peu une zone d'eau douce et sans marnage. Un des effets en a été que le Biesbosch, une zone unique d'eau douce soumise aux marées, entre Rotterdam et Breda, a perdu son caractère naturel. C'est pourquoi on envisage aujourd'hui d'inverser totalement la fonction des écluses du Haringvliet : ouvertes en temps normal, elles ne seraient fermées qu'en cas de danger d'inondation venant de la mer. Le barrage du Haringvliet deviendrait ainsi un barrage anti-tempête comme celui qui a été construit dans l'Escaut oriental, et le Haringvliet redeviendrait un bras de mer soumis aux mouvements des marées. Il est évident que les agriculteurs des polders situés en bordure du Haringvliet et les compagnies des eaux de la région sont peu enthousiastes à cette perspective. Mais ce genre de décision n'est pas prise à la légère : une étude d'impact sur l'environnement a été effectuée, on procède à des expériences et à des mesures, des réunions d'information et de concertation sont organisées. Une décision devrait être prise dans le courant de 1999.

Quoi qu'il en soit, la répartition des zones d'eau douce et d'eau salée dans le Delta est aujourd'hui totalement différente de ce qu'elle aurait dû être selon le plan initial. En principe, seul l'Escaut occidental devait rester une zone d'eau salée, alors qu'aujourd'hui, au contraire, il ne reste de l'eau douce que dans la partie est du Delta. Ce revirement profite surtout à la nature et à l'environnement, sans que l'objectif d'une sécurité accrue s'en trouve pour autant compromis.

3.6.1 Les travaux du Zuiderzee

Les travaux du Zuiderzee ont également donné lieu à un très long débat sur l'assèchement du Markerwaard. Selon les plans initiaux, dressés en 1891 par l'ingénieur Cornelis Lely, le Markerwaard devait, avec 600 km², être le plus grand des polders de l'IJsselmeer. Mais, dès 1968, lorsque fut asséché le Flevoland-Sud, certains milieux se mirent à douter de l'utilité et de la nécessité de la poldérisation du Markerwaard. La digue devant marquer la limite nord-est du futur polder, entre Lelystad et Enkhuizen, fut néanmoins construite en 1975. Même si le polder n'était

pas créé, cette digue aurait quand même son utilité : elle constituerait une séparation, sur le plan de l'économie des eaux, entre ce qui restait de l'IJsselmeer, d'une part, et le lac de Marken et les lacs de ceinture des polders du Flevoland, de l'autre. Par ailleurs, la route aménagée sur la digue raccourcirait considérablement la liaison entre le centre et le nord-ouest des Pays-Bas.

Entre-temps, le débat s'était enflammé. Les partisans de la poldérisation soulignaient les nouvelles possibilités que le polder offrirait pour l'agriculture, les loisirs, l'urbanisation et même pour l'aménagement d'un second aéroport national à proximité de la Conurbation de Hollande. Les adversaires, en revanche, leur rétorquaient que l'aménagement du polder entraînerait la perte d'un important réservoir d'eau douce, des dommages pour la nature (faune aquatique) et une réduction des possibilités pour les sports nautiques. Le projet fut maintes fois remanié, la superficie du polder s'en trouvant à chaque fois réduite au profit des lacs de ceinture, jusqu'à ce que le gouvernement décide finalement, en 1991, de renoncer définitivement au projet.

3.6.2 Mer des Wadden

L'idée de l'assèchement de la mer des Wadden remonte, elle aussi, au XIXe siècle. L'un des nombreux projets de poldérisation du Zuiderzee prévoyait également l'assèchement de la quasi-totalité de la mer des Wadden. Si ce plan ne fut, heureusement, jamais mis à exécution, il fallut encore attendre une bonne centaine d'années avant que l'idée n'en fût définitivement abandonnée. Mais, après 1970, la cause fut rapidement entendue. Des doutes de plus en plus nombreux s'élevaient quant à l'utilité de l'assèchement de la mer des Wadden : les terres qui seraient gagnées sur la mer n'auraient qu'une valeur médiocre pour l'agriculture, et le coût de l'assèchement serait gigantesque. Mais ce qui était au moins aussi important, c'était la prise de conscience croissante de la grande valeur écologique de la mer des Wadden. Cette zone de marais maritimes, laissée à découvert deux fois par jour, est une zone de fourrage inestimable pour d'énormes quantités d'oiseaux, notamment pour les oiseaux migrateurs qui y font halte avant de poursuivre leur lointain voyage vers le nord ou vers le sud. C'est également une zone où l'on trouve beaucoup de phoques. C'est notamment pour cela que l'assèchement de la mer des Wadden est aujourd'hui exclu, même si les écologistes — en particulier l'Association nationale pour la préservation de la mer des Wadden — doivent être continuellement aux aguets pour préserver la valeur naturelle de la région et la protéger de toutes sortes de menaces : pollution de l'eau (provenant notamment du Rhin et de la Meuse, via la mer du Nord), forages pétroliers et de gaz naturel, manœuvres militaires, charge excessive que représentent les touristes et les adeptes des sports nautiques pendant la saison d'été.

3.6.3 Les grands fleuves

Ce qu'il est convenu d'appeler aux Pays-Bas les grands fleuves, c'est-à-dire le Rhin, le Waal et la Meuse, a également donné lieu au cours des dernières décennies à des discussions passionnées sur la manière de prévenir les inondations. La « région des grands fleuves » est en fait le delta commun du Rhin et de la Meuse et de leurs multiples bras. Comme toujours dans le cours inférieur, les fleuves coulent lentement dans des lits larges et peu profonds. Dès le XIe siècle, on essaya de garantir la sécurité des zones riveraines en construisant des digues le long des fleuves. Les zones protégées par les digues purent être défrichées, mais leur niveau baissa du fait notamment du pompage de l'eau excédentaire. La sédimentation était désormais limitée à la zone comprise entre deux digues, c'est-à-dire dans le lit des fleuves et les laisses, si bien qu'à la longue le niveau des fleuves et des digues se retrouva plus élevé que celui des terres avoisinantes. Loin de diminuer, le danger ne faisait donc qu'augmenter. C'est ainsi qu'au cours des siècles quantité d'inondations catastrophiques eurent lieu, la dernière datant de 1926. Par la suite, les fleuves ne sortirent plus de leur lit pendant plus de 65 ans, au point que l'on put croire, tout comme cela avait été le cas dans la région du Delta avant 1953, que les grandes inondations appartenaient définitivement au passé.

Certes, après la catastrophe de 1953, le gouvernement décida d'exhausser également les digues fluviales, mais la mise en œuvre de cette décision subit beaucoup de retard. En 1978, il fut décidé que le renforcement de 720 km de digue devait être achevé en 1998. Mais, une nouvelle fois, les travaux furent fortement retardés, et ce pour les deux raisons suivantes :

1. la modification du Plan Delta, en l'occurrence la construction de barrages anti-tempête dans l'Escaut oriental et dans le Nieuwe Waterweg, coûtait beaucoup plus que le projet initial ;
2. le processus décisionnel était souvent beaucoup plus long que prévu, du fait des nombreuses objections faites par les associations de protection de l'environnement et de la nature à toute modification trop rigoureuse du paysage dans la région des grands fleuves.

Ce n'est qu'en 1995 que les choses se mirent à bouger, après des inondations qui avaient nécessité l'évacuation préventive de 250 000 personnes. Une loi fut adoptée de toute urgence afin d'accélérer le processus de prise de décision et les procédures d'autorisation, de manière à pouvoir entamer rapidement les travaux. En l'espace de deux ans, les tronçons de digue les plus vulnérables __ soit près de 300 km au total le long du Rhin, du Waal, de l'IJssel et de la Meuse __ ont été renforcés. À l'automne 1997, l'objectif était atteint, dans une harmonie beaucoup plus grande qu'auparavant entre les écologistes et l'Administration néerlandaise des Transports et des Travaux publics. Avant la fin de l'an 2000, 450 km de digues doivent encore être améliorés. Il ne s'agira pas uniquement de renforcer et d'exhausser les digues mais aussi d'améliorer l'ensemble du système fluvial. Pour ce faire, il faudra accroître le débit des fleuves en les élargissant et/ou en les approfondissant en certains endroits. Il s'agira aussi d'accroître les possibilités d'accumulation temporaire d'eau excédentaire des fleuves en « rendant » à leur lit majeur les laisses et d'autres terrains limitrophes. Bien davantage que ce n'était le cas jusqu'ici, une place importante sera faite dans ce contexte à la préservation des valeurs paysagères et écologiques.

3.6.4 Les Pays-Bas et l'eau : perspectives d'avenir

Le Plan Delta et les travaux du Zuiderzee sont achevés, l'assèchement de la mer des Wadden a été relégué aux oubliettes, et la sécurité de la région des grands fleuves sera assurée à la fin de l'an 2000. Pourtant, la menace de l'eau sera toujours là pour les habitants des provinces côtières et de la région des grands fleuves, qui représentent à eux seuls au moins 60 % de la population néerlandaise. Les ouvrages d'art qui ont été construits pour protéger ces régions __ digues, barrages, barrages anti-tempête, stations de pompage, etc. __ doivent être régulièrement entretenus, et la préservation des « ouvrages » naturels que sont la plage et les dunes nécessite également des soins permanents. Il est évident, dans ce contexte, que l'élévation du niveau de la mer entraînera une augmentation des coûts. Mais ce qui est intéressant, c'est que la réflexion sur ces questions est désormais dictée de façon de plus en plus marquée par des critères de protection de la nature et de l'environnement.

La ligne côtière des Pays-Bas (compte non tenu de la Digue de fermeture, de la côte des provinces de Groningue et de Frise et des rives de l'Escaut occidental) a une longueur totale d'environ 350 km, dont plus de 260, composés de plages et de dunes, peuvent être considérés comme une côte dynamique, en ce sens que les flots et le vent y exercent une action continue, si bien qu'en certains endroits la ligne côtière recule vers l'intérieur des terres et qu'en d'autres endroits, au contraire, elle avance dans la mer. Le bilan général de cette activité est négatif, si bien que le gouvernement a décidé en 1990 de fixer la ligne côtière à l'endroit où elle se trouvait à ce moment-là. On examine donc chaque année en quels endroits il y a lieu de rehausser le littoral par remblayage hydraulique. Ce qui est frappant, c'est que même aux endroits les plus menacés, on ne recourt pas à des moyens de protection « en dur », tels que des barrages et des digues, mais uniquement au renforcement au moyen de sable. Il est en effet apparu que les ouvrages en dur n'apportent pas de solutions satisfaisantes. C'est ainsi qu'un ouvrage de protection contre la mer d'une longueur de 5 km, le

Hondsbosche Zeewering, aménagé « en dur » vers 1870 à un endroit de la côte de Hollande-Septentrionale où il n'y avait pour ainsi dire pas de dunes, en est arrivé à être aujourd'hui une espèce de promontoire, les dunes ayant reculé de façon naturelle au nord et au sud de l'ouvrage.

3.6.5 Aider la nature

L'étape suivante consiste à gagner des terres en utilisant, là encore, le procédé du remblayage hydraulique : on donne à la côte, horizontalement et verticalement, une forme telle que les flots et le vent peuvent achever le travail, en fixant la côte dans une situation d'équilibre naturel, ce qui permet même, dans certains cas, de gagner des terres sur la mer. C'est ce qu'on appelle « aider la nature ».

Cette méthode a déjà été utilisée en divers endroits du littoral néerlandais, en particulier en des endroits où de longues jetées s'avancent dans la mer perpendiculairement au rivage. C'est ainsi qu'au nord de la jetée septentrionale, longue de plus de 3 km et demi, du Nieuwe Waterweg, à Hoek-van-Holland, quelque 19 millions de m³ de sable ont été apportés par remblayage hydraulique, dans les années soixante-dix, pour renforcer la côte, dans le même temps où était aménagée la Maasvlakte, de l'autre côté du Nieuwe Waterweg. Ainsi s'est constituée une zone triangulaire de plus de 100 ha, où la plage et les dunes sont en équilibre. Les loisirs balnéaires s'y développent rapidement, tandis qu'à l'intérieur du triangle se développe une zone naturelle d'une grande valeur.

Un processus analogue a eu lieu en bordure de la jetée méridionale, longue de deux kilomètres, à IJmuiden, à l'embouchure du canal de la mer du Nord. Mais ici, le rôle de la nature a été beaucoup plus grand, car, les courants étant orientés vers le nord le long de la côte hollandaise, cette zone s'est étendue pour ainsi dire toute seule. Dans les années quatre-vingts, on a aménagé un cordon de dunes. Aujourd'hui, une large plage s'est formée du côté de la mer et un port de plaisance a été aménagé derrière les dunes. Une percée pratiquée dans la jetée met ce port de plaisance en liaison directe avec la mer. Dans une autre partie de ce triangle d'une superficie de plus de 100 ha, un lac intérieur a été aménagé qui s'inscrit dans la zone naturelle autour de l'ancien cordon de dunes.

Un débat est en cours depuis plusieurs années à propos d'un projet fondé sur ce même principe d'aide à la nature d'aménagement d'une zone artificielle de 20 km de long au large des côtes de la Hollande-Méridionale, entre Scheveningen et Hoek-van-Holland. Il s'agit du Plan Waterman, du nom de son auteur. La zone triangulaire, évoquée ci-dessus, de Hoek-van-Holland devrait y être intégrée. Ce projet constitue un exemple parfait d'aide à la nature car sa mise en œuvre rétablira en principe l'ancienne ligne côtière, mais cette fois avec des plages et des dunes au lieu de barrages et de digues. Si l'on examine le plan de la ville de La Haye, on constate que les grands axes, qui avaient été aménagés sur des crêtes pré-littorales, sont davantage orientés dans le sens sud-ouest/nord-est que le littoral actuel. C'est que pendant longtemps la mer a emporté davantage de sable qu'elle n'en apportait, ce qui entraîna la disparition d'une grande partie des dunes. En construisant une digue le long d'une partie de la côte, ainsi qu'un grand nombre de jetées perpendiculaires au littoral, on est parvenu, à grand peine, à fixer la ligne côtière. La mise en œuvre du Plan Waterman aurait pour effet de rétablir très largement la situation naturelle d'origine. Cette nouvelle zone, qui aurait une superficie d'environ 3 000 ha, pourrait être utilisée à diverses fins __ loisirs de plein air, zones d'habitation, horticultures en serre, etc., ce qui donnerait une impulsion considérable au flanc sud de la Conurbation de Hollande. En dépit de tous ces avantages, tant la population que les groupes de pression écologistes ont aussi des objections à la réalisation du plan. Personne ne peut donc encore dire aujourd'hui à quel moment une décision sera prise quant à sa mise en œuvre.

Quoi qu'il en soit, une chose est certaine : l'ère des grands travaux hydrauliques à coup de tonnes de béton et d'asphalte est définitivement révolue aux Pays-Bas. Aujourd'hui, la préférence va à de

petits projets, qui sont davantage en harmonie avec la nature. Le projet d'extension vers le sud de la Maasvlakte, qui doit permettre au port de Rotterdam de s'étendre, sera presque certainement réalisé selon ces principes. Le maître-mot aujourd'hui est celui de politique intégrale du littoral, une politique qui combine la protection du littoral et la conquête de terres, une politique qui fait droit aux intérêts tant de l'économie que de la nature et de l'environnement, grâce à une planification mûrement réfléchie de l'utilisation des terres à conquérir sur les eaux. Cette politique d'aide à la nature présente un avantage supplémentaire, qui est loin d'être négligeable : les coûts en sont en général beaucoup moins élevés que ceux des grands travaux utilisant force béton et asphalte. C'est cet aspect en particulier qui rend l'application de la méthode attrayante dans de nombreuses autres régions du monde, confrontées à des problèmes hydrauliques analogues dans des zones côtières à forte densité de population.

CONCLUSION

Un passage en revue de la littérature scientifique récente permet de tirer quelques conclusions provisoires :

- Il n'existe pas de consensus scientifique sur la portée du réchauffement climatique récent en Arctique. Plusieurs études montrent qu'il a été plus faible que le réchauffement moyen du globe au XXe siècle. D'autres rappellent que les amplitudes thermiques autour du Pôle Nord sont la règle depuis au moins 50.000 ans, et que le phénomène est particulièrement documenté au cours du dernier millénaire comme au cours du dernier siècle.

- Il n'existe pas de consensus scientifique sur l'amplitude de la fonte récente des glaces en Arctique. Le chiffre de 40% de perte en 40 ans a été vivement contesté. Plusieurs études satellitaires montrent que les modèles climatiques en vigueur manquent de précision sur l'épaisseur réelle des glaces (50% de sous-évaluation de la variabilité réelle). Certaines zones de l'Arctique (comme l'inlandsis groenlandais) connaissent une progression des glaces, et non une régression. D'autres zones, comme les mers marginales de Sibérie, ne montrent aucune évolution significative au XXe siècle.

- Il n'existe pas de consensus scientifique sur les causes de l'évolution climatique récente de l'Arctique. Le réchauffement climatique global est le coupable idéal, mais aucune preuve n'a jamais été apportée de sa responsabilité. Qui plus est, les variations du climat arctique contredisent la thèse "simpliste" du réchauffement par gaz à effet de serre : comment expliquer la période chaude 1920-1940 et la période froide 1950-1970 alors que l'émission des gaz à effet de serre a cru de manière continue tout au long du XXe siècle ? En fait, les chercheurs se penchent plutôt sur les mécanismes de l'oscillation nord-atlantique (NAO) et de l'oscillation arctique (AO) - et des anticyclones mobiles polaires qui les sous-tendent (Leroux 2004) - pour comprendre l'évolution du climat en Arctique et dans l'hémisphère Nord.

Autrement dit, le problème de l'eau ne se limite pas à l'eau douce. Ainsi, dans le futur, les populations côtières risquent d'être davantage menacées par l'invasion de la mer et par les inondations que par la baisse des ressources aux États-Unis, au Mexique et en Australie. Surtout, les zones côtières (secteurs à moins de 100 kilomètres du littoral et moins de 100 mètres au-dessus du niveau de la mer) comptent 1,2 milliard d'habitants, soit un cinquième de la population mondiale. La densité de population moyenne est trois fois supérieure à la moyenne mondiale dans les zones côtières, et, depuis plusieurs décennies, la croissance démographique y est plus rapide qu'à l'intérieur des terres.

Les événements récents montrent que les zones côtières se retrouvent en première ligne pour supporter les conséquences du changement climatique et de l'élévation du niveau de la mer. Ces zones sont très habitées, et accueillent de nombreuses activités économiques. En faire le constat

suscitera-t-il le sentiment d'urgence nécessaire pour nous inciter à trouver des approches novatrices, à l'échelle nationale et internationale ? Le prix de l'inaction serait une destruction d'une ampleur telle que même un héros néerlandais ne saurait l'arrêter.

Références

Pour plus d'information sur la Conférence mondiale sur le littoral, voir (en anglais) : www.gdrc.org/oceans/ocn-icm1.html.

Church, John et White, Neil (2006), « A 20th century acceleration in global sea-level rise », *Geophysical Research Letters*, Vol 33, Tasmanie. Voir (en anglais) : www.agu.org/pubs/crossref/2006/2005GL024826.shtml.

Schellnhuber, Joachim, et al. (2006), *Avoiding Dangerous Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge. Voir (en anglais) : www.defra.gov.uk/environment/climatechange/internat/dangerous-cc.htm

Ministère de l'écologie et du développement durable

[<http://www.ecologie.gouv.fr/sommaire.php3>](http://www.ecologie.gouv.fr/sommaire.php3)

Site dédié à la Charte de l'environnement

[<http://www.charte.environnement.gouv.fr>](http://www.charte.environnement.gouv.fr)

Ministère de la Santé, de la Famille et des personnes handicapées

[<http://www.sante.gouv.fr>](http://www.sante.gouv.fr)

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales

[<http://www.agriculture.gouv.fr>](http://www.agriculture.gouv.fr)

Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie - Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes (DGCCRF) sur le prix du service de l'eau

[<http://www.finances.gouv.fr/DGCCRF/>](http://www.finances.gouv.fr/DGCCRF/)

Site interministériel présentant la politique publique française de l'eau

[<http://www.politique-eau.gouv.fr/>](http://www.politique-eau.gouv.fr/)

Etablissements publics

Agences de l'eau

[<http://www.lesagencesdeleau.fr/>](http://www.lesagencesdeleau.fr/)

- Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse

[<http://www.eaurmc.fr>](http://www.eaurmc.fr)

- Agence de l'eau Rhin-Meuse

[<http://www.eau-rhin-meuse.fr>](http://www.eau-rhin-meuse.fr)

- Agence de l'eau Adour-Garonne

[<http://www.eau-adour-garonne.fr>](http://www.eau-adour-garonne.fr)

- Agence de l'eau Loire-Bretagne

[<http://www.eau-loire-bretagne.fr>](http://www.eau-loire-bretagne.fr)

- Agence de l'eau Artois-Picardie

[<http://www.eau-artois-picardie.fr>](http://www.eau-artois-picardie.fr)

- Agence de l'eau Seine-Normandie

[<http://www.eau-seine-normandie.fr/>](http://www.eau-seine-normandie.fr/)

Institut National de l'environnement Industriel et des Risques (INERIS) - établissement public
<<http://www.ineris.fr>>

Institut national de la consommation (INC)
<<http://www.conso.net/page/>>

Institut français de l'environnement
<<http://www.ifen.fr>>

Le Centre National de la recherche scientifique
<<http://www.cnrs.fr>>

Etablissement public à caractère industriel et commercial, Voies navigables de France a été créé en 1991 et a succédé à l'Office National de la Navigation
<<http://www.vnf.fr>>

Sites ressources sur l'eau

Fontaine : (base de données bibliographiques sur l'eau produite par les Agences de l'eau et la direction de l'eau du Ministère de l'écologie et du développement durable)
<<http://www.ate.tm.fr/fontaine/>>

Service d'Administration Nationale des Données et Référencements sur l'Eau (Sandre)
<<http://sandre.eaufrance.fr/>>

Office international de l'eau
<<http://www.oieau.fr/index.htm>>

Centre d'information sur l'eau
<<http://www.cieau.com/accueil.htm>>

Sites associatifs

Académie de l'eau (créée en 1993 à l'initiative du Ministère de l'Environnement et des six Comités de bassin français, devenue en octobre 1996, association loi 1901.
<<http://www.oieau.fr/academie/>>

Coordination Nationale des Associations de Consommateurs d'Eau
<<http://www.cace.fr>>

L'équipe de H2O, composée de journalistes, chercheurs et enseignants, propose des services dans le domaine de l'eau aussi bien que dans ceux du multimédia et des nouvelles technologies
<<http://www.h2o.net>>

LAUNAY (Jean). - La gestion de l'eau sur le territoire : rapport n°1170. Assemblée nationale. Délégation à l'aménagement et au développement durable du territoire ; 2003
<<http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/044000053.shtml>>

FRANCE. Ministère de l'Ecologie et du Développement durable - Dossier de presse - 16 décembre 1964 - 16 décembre 2004 : 40 ans de politique de l'eau
<http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/dossier_presse_40eme_anniversaire_loi_1964.pdf>

FLORY (Jean-Claude). - Les redevances des agences de l'eau : enjeux, objectifs et propositions d'évolution dans la perspective de la réforme de la politique de l'eau. Paris ; Ministère de l'écologie et du développement durable ; 2003.
<<http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/034000612.shtml>>

FRANCE. Cour des Comptes. - Les services publics d'eau et d'assainissement, 2003.
<<http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/034000735.shtml>>

MIQUEL (Gérard), REVOL (Henri).- La qualité de l'eau et de l'assainissement en France : rapport n° 215 de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Paris : Sénat ; Assemblée Nationale, 2003. <http://www.senat.fr/opecest/rapports.html>

CENTRE D'ETUDES ET DE RECHERCHES INTERNATIONALES ET COMMUNAUTAIRES (France).- Le droit international des ressources en eau douce : solidarité contre souveraineté : collection dirigée par Jacques Bourrinet. Paris : La Documentation française, 2002.

FRANCE. Inspection générale de l'environnement : rapport d'activité 2001. Paris : Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 2002. <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/024000580.shtml>

FRANCE. Cour des comptes. - La préservation de la ressource en eau face aux pollutions d'origine agricole : le cas de la Bretagne : rapport au Président de la République suivi des réponses des administrations et des organismes intéressés. Paris : Direction des journaux officiels, 2002. <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/024000109.shtml>

SMETS (Henri). - Le droit à l'eau. Paris : Académie de l'eau, CEDE-AESN, 2002. <http://www.oieau.fr/academie/gege/DoitAIEau.htm>

VILLEY-DESMESERETS (Franck), BALLAY (Denis), TRICARD (Dominique), HENRY DE VILLENEUVE (Caroline).- La Politique de préservation de la ressource en eau destinée à la consommation humaine : rapport d'évaluation du Commissariat général du Plan. Paris : La Documentation française, 2001. <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/014000744.shtml> COMTE-TROTET (Valérie). - Les Investissements antipollution en 1999. Paris : Service des études et des statistiques industrielles, 2001.

TAVERNIER (Yves).- Rapport d'information déposé par la Commission des finances, de l'économie générale et du plan en conclusion des travaux d'une mission d'évaluation et de contrôle constituée le 20 décembre 2000, sur le financement et la gestion de l'eau (Documents d'information de l'Assemblée nationale, n° 3081). Paris : Assemblée nationale, 2001. <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/014000406.shtml>

DUBOIS (Dominique).- Mission d'étude et de réflexion sur l'organisation des pouvoirs publics dans le domaine de la protection de l'environnement : rapport au premier ministre. Paris : Premier ministre, 2001. <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/014000798.shtml>

MARCOVITCH (Daniel).- Rapport d'information fait au nom de la Commission de la production et des échanges sur le projet de loi portant réforme de la politique de l'eau. Paris : Assemblée nationale, 2001. [<http://www.assemblee-nat.fr/rapports/r3500.asp> <[<http://www.assemblee-nat.fr/rapports/r3500.asp>]

FRANCOIS-PONCET (Jean), OUDIN (Jacques).- Rapport d'information fait au nom de la Commission des Affaires économiques et du Plan sur la réforme de la loi sur l'eau (Les Rapports du Sénat, n° 146). Paris : Sénat, 2000. <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/014000132.shtml>

BOUE (René).- La réforme de la politique de l'eau : avis du Conseil économique et social. Paris : Conseil économique et social, 2000.

FRANCE. Ministère de l'Intérieur, Direction générale des collectivités territoriales. - La distribution de l'eau potable : guide pratique de l' élu. Paris : Ministère de l'intérieur, 2000.

MUTIN (Georges). - De l'eau pour tous ? La Documentation photographique, n°8014, France : La Documentation française, 2000.

PUJOL (Jean-Luc), DRON (Dominique).- Agriculture, monde rural et environnement : qualité oblige : rapport à Mme la ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement.

Collection des rapports officiels. Paris : La Documentation française, 1999.

<http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/994000398.shtml>

GLACHANT (Matthieu).- La politique de l'eau en matière de pollution industrielle et domestique : une combinaison d'instruments est-elle nécessairement efficace ? Paris : Centre d'économie industrielle ; Ecole nationale supérieure des Mines de Paris, 1999.

<http://www.cerna.ensmp.fr/Documents/MG-PIREE.pdf>

RAMONET (Ignacio), CASSEN (Bernard). - La ruée vers l'eau : manière de voir n°65. Paris : Le monde diplomatique, bimestriel, septembre-octobre 2002.

TAVERNIER (Yves).- Rapport d'information déposé...par la Commission des finances, de l'économie générale et du plan sur la taxe générale sur les activités polluantes et la politique de l'eau (Documents d'information de l'Assemblée nationale, n° 1807). Paris : Assemblée nationale, 1999. <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/994001495.shtml>

CAHART (Patrice), BENETIERE (Jean-Jacques), BURGARD (Louis-Roch).- La Gestion et le bilan du programme de maîtrise des pollutions d'origine agricole : rapport d'évaluation, Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie, du Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, du Ministère de l'agriculture et de la pêche. Paris : Ministère de l'Amenagement du Territoire et de l'Environnement, 1999.

<http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/004001863.shtml>

FRANCE. Haut conseil du secteur public.- Quelle régulation pour l'eau et les services publics ? Paris : Haut conseil du secteur public, 1999.

<http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/004000299.shtml>