

RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE ET SES EFFETS

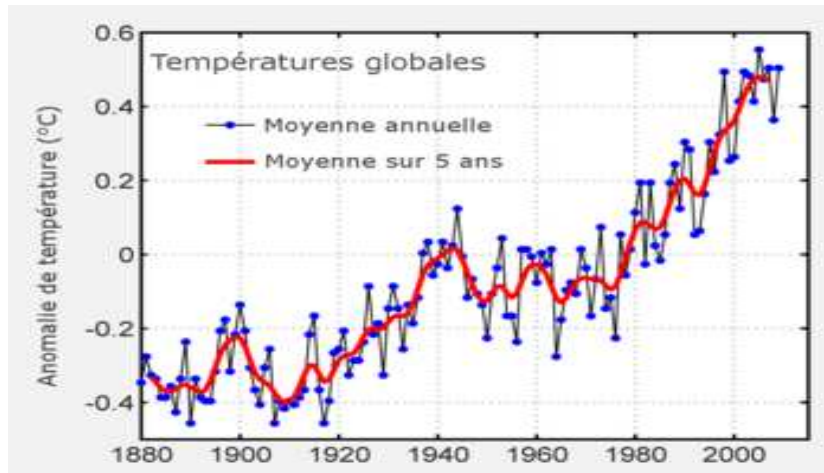
Krider cherif

C.U. KHEMIS MILIANA

Résumé:

Le réchauffement climatique, également appelé réchauffement planétaire, ou réchauffement global, est un phénomène d'augmentation de la température moyenne des océans et de l'atmosphère, à l'échelle mondiale sur plusieurs années. Dans son acception commune, ce terme est appliqué à une tendance au réchauffement global observé depuis les dernières décennies du XX^e siècle.

Le réchauffement climatique, également appelé réchauffement planétaire, ou réchauffement global, est un phénomène d'augmentation de la température moyenne des océans et de l'atmosphère, à l'échelle mondiale sur plusieurs années. Dans son acception commune, ce terme est appliqué à une tendance au réchauffement global observé depuis les dernières décennies du XX^e siècle.



Différence de température globale moyenne de surface par rapport à la moyenne 1961-1990, sur la période 1880-2009.

Un Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, le GIEC, élabore un consensus scientifique sur cette question. Son dernier et quatrième rapport, auquel ont participé plus de 2 500 scientifiques de 130 pays, affirme que le réchauffement climatique depuis 1950 est *très* probablement¹ d'origine anthropique, c'est-à-dire humaine. Ces conclusions ont été approuvées par plus de 40 sociétés scientifiques et académies des sciences, y compris l'ensemble des académies nationales des sciences des grands pays industrialisés².

Les projections des modèles climatiques présentées dans le dernier rapport du GIEC indiquent que la température de surface du globe est susceptible d'augmenter de 1,1 à 6,4 °C supplémentaires au cours du XXI^e siècle. Les différences entre les projections proviennent de l'utilisation de modèles ayant des sensibilités différentes pour les

concentrations de gaz à effet de serre et utilisant différentes estimations pour les émissions futures. La plupart des études portent sur la période allant jusqu'à l'an 2100. Cependant, le réchauffement devrait se poursuivre au-delà de cette date même si les émissions s'arrêtent en raison de la grande capacité calorifique des océans et de la durée de vie du dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

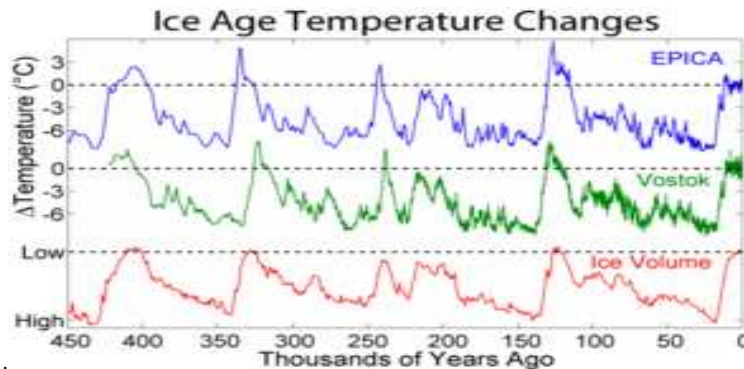
Ce phénomène implique de fortes conséquences humaines et environnementales à moyen et long terme.

Des incertitudes sur la hausse de température globale moyenne subsistent du fait de la précision des modélisations employées, et des comportements étatiques et individuels présents et futurs. Les enjeux économiques, politiques, sociaux, environnementaux, voire moraux, étant majeurs, ils suscitent des débats nombreux, à l'échelle internationale, ainsi que des controverses.

Évolution passée des températures et conséquences

Cycles climatiques

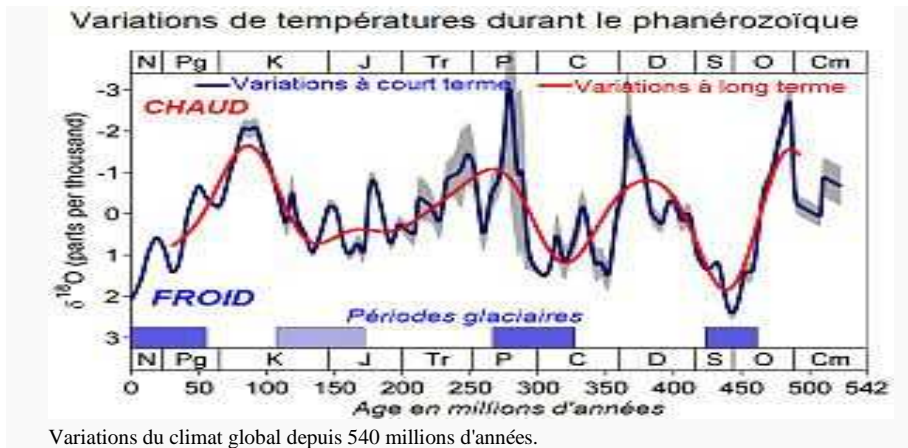
Le climat global de la Terre connaît des modifications plus ou moins cycliques de réchauffements alternant avec des refroidissements qui diffèrent par leur durée (de quelques milliers à plusieurs millions d'années) et par leur amplitude. Depuis 60 millions d'années, la Terre connaît un refroidissement général, avec l'apparition de la calotte glaciaire antarctique il y a 35 millions d'années et de la calotte glaciaire de l'hémisphère nord il y a 4 millions d'années³



Depuis 800 000 ans, le climat terrestre connaît plusieurs cycles de glaciation et de réchauffement, d'environ 100 000 ans chacun. Chaque cycle commence par un réchauffement brutal suivi d'une période chaude de 10 000 à 20 000 ans environ, appelée période interglaciaire. Cette période est suivie par un refroidissement progressif et l'installation d'une ère glaciaire. À la fin de la glaciation, un réchauffement brutal amorce un nouveau cycle. Nous vivons actuellement depuis plus de 10 000 ans dans une période interglaciaire (*voir figure*), et l'actuelle évolution climatique se place par rapport au réchauffement naturel postérieur à la dernière glaciation.

Grâce à l'étude des carottages de glace et plus précisément de l'analyse de la composition isotopique de l'oxygène piégé dans la glace, les températures atmosphériques des cycles glaciaires de l'ère quaternaire ont pu être reconstituées⁴. La carotte glaciaire la plus profonde a été forée dans le cadre du projet Epica, en Antarctique, à plus de 3 500 mètres de profondeur et permettant de remonter l'histoire du climat en Antarctique jusqu'à 800 000 ans⁵. Les carottes de glace contiennent des bulles d'air et des indications sur la teneur en gaz de l'atmosphère d'autrefois. Certains croient que ceci montre que les températures globales sont liées à la quantité de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère mais il faut bien faire attention à ne pas confondre cause et effet. En effet, 90 % de l'effet de serre étant produit par la vapeur d'eau et les nuages, cela ne prouve pas que le CO₂ a une influence significative sur le climat. Les variations du climat sont corrélées avec celles de l'insolation, des paramètres de Milanković, de l'albédo, des cycles solaires et des concentrations dans l'atmosphère des gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone et des aérosols.

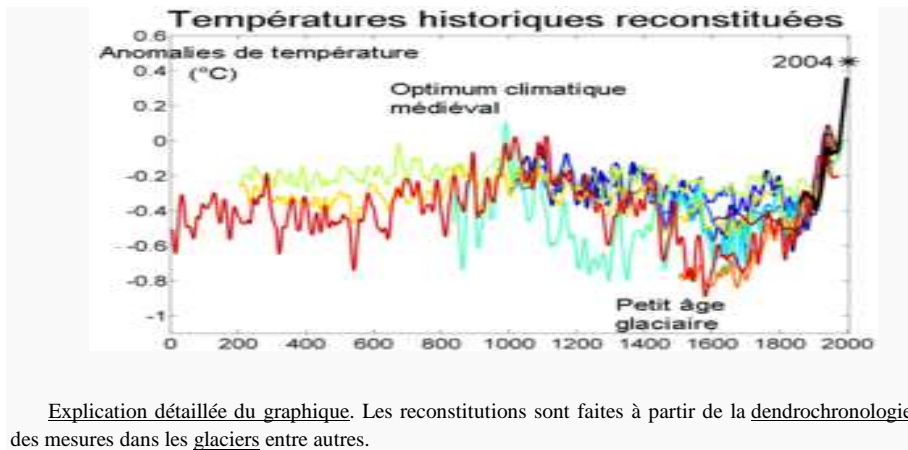
Amplitudes des variations climatiques



Au cours du quaternaire, l'amplitude thermique a été de l'ordre de 10 °C, mais avec des hausses de température n'ayant jamais dépassé de plus de 4 °C la température moyenne annuelle de la fin du XX^e siècle.

En revanche pour les cycles plus anciens, comme durant le Permien, la température moyenne globale a atteint 22 °C soit 8 °C de plus par rapport à la moyenne actuelle, comme on peut le voir sur le graphique ci-contre. Durant ces périodes chaudes qui ont duré plusieurs dizaines de millions d'années, la Terre était dépourvue de calottes polaires.

Temps historiques



À l'intérieur des grandes fluctuations climatiques terrestres, se trouvent des variations plus brèves et plus limitées en intensité. Ainsi, au cours du dernier millénaire, est apparue en Europe occidentale une période chaude entre le X^e siècle⁶ et le XIII^e siècle, appelée « optimum climatique médiéval » : c'est l'époque où les navigateurs vikings découvrent et baptisent le Groenland (littéralement « Pays vert ») et fondent des colonies à l'extrême sud de l'île. De même, l'époque des Temps Modernes (1550-1850) connut une période de refroidissement que les historiens appellent le « petit âge glaciaire » caractérisé par des hivers très rigoureux, dont le terrible hiver 1708-1709.

Selon les reconstitutions⁷ de températures réalisées par les climatologues, la dernière décennie du XX^e siècle et le début du XXI^e siècle constituent la période la plus chaude des deux derniers millénaires (voir graphique). Notre époque serait même un peu plus chaude (de quelques dixièmes de degrés) que ne le fut l'optimum climatique médiéval.

Observations liées au réchauffement climatique actuel

Plusieurs changements ont été observés dans le monde qui ont conduit à conclure à l'existence d'un réchauffement climatique planétaire. En France, un observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC), créé en 2001, coordonne les observations.

L'évolution des températures



Température moyenne de surface entre 1856 et 2009. La baisse ponctuelle en 1992-1993 est attribuée aux aérosols dégagés lors de l'éruption du Pinatubo en 1991.

Les mesures terrestres de température réalisées au cours du XX^e siècle montrent une élévation de la température moyenne. Ce réchauffement se serait déroulé en deux phases, la première de 1910 à 1945, la seconde de 1976 à aujourd'hui. Ces deux phases sont séparées par une période de léger refroidissement. Ce réchauffement planétaire semble de plus corrélé avec une forte augmentation dans l'atmosphère de la concentration de plusieurs gaz à effet de serre, dont le dioxyde de carbone, le méthane et le protoxyde d'azote⁸.

Les 10 années les plus chaudes entre 1880 et 2010

	Années	Écarts par rapport à la moyenne de 1961–1990
1	1998	+0,52 °C
2	2010	+0,50 °C
3	2005	+0,47 °C
4	2003	+0,46 °C

5	2002	+0,46 °C
6	2009	+0,44 °C
7	2004	+0,43 °C
8	2006	+0,43 °C
9	2007	+0,40 °C
10	2001	+0,40 °C

L'élévation de la température moyenne du globe entre 1906 et 2005 est estimée à 0,74 °C (à plus ou moins 0,18 °C près), dont une élévation de 0,65 °C durant la seule période 1956-2006.

L'analyse du Goddard Institute for Space Studies(GISS) de la NASA montre que la moyenne mondiale de la température de l'air de surface entre 1997 et 2008 est de 0,44 °C au-dessus de la moyenne mondiale établie entre 1951 et 1980. Selon le même institut, l'année 2010 a été l'année la plus chaude (à égalité avec 2005, et pour la moyenne des températures planétaires), et marque la fin de la décennie et d'une suite de 30 années les plus chaudes jamais enregistrées par la météorologie, ceci malgré un net refroidissement de certaines zones de l'hémisphère nord par La Niña, et malgré les effets d'une faible activité solaire. Le réchauffement s'est globalement poursuivi sans discontinuer de 1980 à 2010, sur 30 ans, pas de temps généralement considéré par les météorologues comme suffisant à titre de tendance sur le court terme.

Parmi les dix années les plus chaudes depuis un siècle, neuf sont postérieures à l'an 2000.

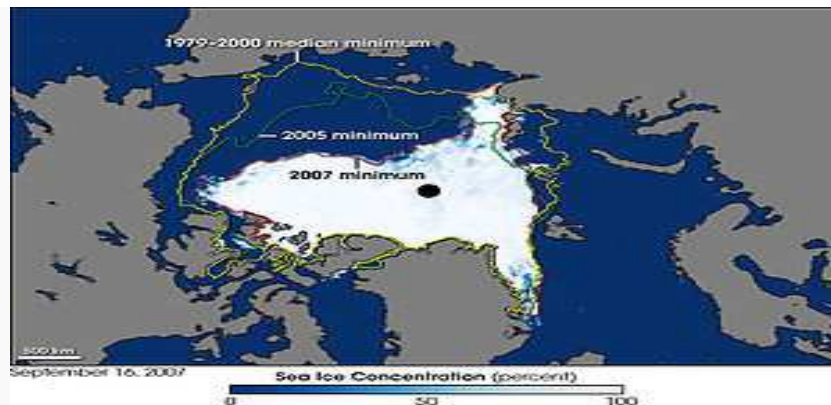
Le quatrième rapport du GIEC estime comme *très probable* le fait que les températures moyennes dans l'hémisphère nord aient été plus élevées pendant la seconde moitié du XXe siècle que durant n'importe

quelle autre période de cinquante ans au cours des cinq derniers siècles, et *probable* le fait qu'elles aient été les plus élevées depuis 1 300 ans au moins.

Les précipitations

Selon le quatrième rapport du GIEC, la répartition des précipitations s'est modifiée au cours du XX^e siècle. En particulier, les précipitations auraient fortement augmenté dans l'est de l'Amérique du Nord et du Sud, dans le nord de l'Europe et dans le nord et le centre de l'Asie, tandis qu'elles diminuaient au Sahel, en Méditerranée, en Afrique australe et dans une partie de l'Asie du Sud. D'autres experts estiment toutefois les données actuelles trop rares et incomplètes pour qu'une tendance à la hausse ou à la baisse des précipitations puisse se dégager sur des zones de cette ampleur¹⁷. On observe également depuis 1988 une diminution notable de la couverture neigeuse printanière aux latitudes moyennes de l'hémisphère nord. Cette diminution est préoccupante car cette couverture neigeuse contribue à l'humidité des sols et aux ressources en eau.

La fonte de la banquise



En 2005 et 2007 ont été atteints les records de minimum de l'étendue de la banquise arctique.

Plusieurs études indiquent que les banquises sont en train de se réduire. La surface des glaces de mer a connu une décroissance très rapide, passant de 8,5 millions de km² pendant la période 1950-1975 à 5,5 millions de km² en 2010. Le satellite spécialisé CryoSat-2 fut mis en orbite en avril 2010 après l'échec du premier satellite CryoSat en 2005. Il doit fournir des informations plus précises sur les quantités de glace polaire.

En Arctique

Des observations par satellite montrent que ces banquises perdent de la superficie dans l'océan Arctique. Par ailleurs, un amincissement de ces banquises, en particulier autour du pôle nord, a été observé. L'âge moyen des glaces sur la période 1988-2005, est passé de plus de six ans à moins de trois ans. La réduction de l'étendue moyenne de la banquise arctique depuis 1978 est de l'ordre de 2,7 % par décennie (plus ou moins 0,6 %), son étendue minimale en fin d'été diminuant de 7,4 % par décennie (plus ou moins 2,4 %)⁹. Le réchauffement dans cette région est de l'ordre de 2,5 °C (au lieu de 0,7 °C en moyenne sur la planète), et l'épaisseur moyenne des glaces a perdu 40 % de sa valeur entre les périodes 1958-1976 et 1993-1997. 2007 marque un minimum de la banquise en été. Cette année-là, les observations satellitaires constatent une accélération de la fonte de la banquise arctique, avec une perte de 20 % de la surface de la banquise d'été en un an. Les observations menées pendant l'expédition Tara dirigée sous l'égide du programme européen Damoclès (Developping Arctic Modelling and Observing Capabilities for Long-term Environmental Studies) de septembre 2006 à décembre 2007 indiquent que les modifications entamées dans l'océan Arctique sont profondes et irréversibles. Par ailleurs, le Groenland a vu ses glaciers se réduire de 230 à 80 milliards de tonnes par an de 2003 à 2005, ce qui contribuerait à 10 % des 3 mm actuels d'élévation annuelle du niveau des mers¹⁰.

Une étude récente montre une anticorrélation et un basculement bipolaire entre les températures des pôles : quand un pôle se réchauffe,

l'autre se refroidit, et les phases de réchauffement/refroidissement se succèdent par cycles de quelques dizaines d'années³⁰. Le lien entre les deux pôles serait l'Océan Atlantique. Selon les auteurs, « l'accélération récente du réchauffement de l'Arctique résulte d'un renforcement positif de la tendance au réchauffement (due à l'accroissement des gaz à effet de serre et à d'autres forçages possibles) par la phase de réchauffement due à la variabilité climatique multidécennale (due aux fluctuations de la circulation de l'Océan Atlantique ».

En Antarctique

En Antarctique, les mesures par satellites, faites depuis 1979 ne montrent pas actuellement de diminution de surface, contrairement à la banquise Arctique³¹. Cependant, on observe un certain nombre de phénomènes exceptionnels. Ainsi, 3 500 km² de la banquise Larsen B, (l'équivalent en surface des deux tiers d'un département français), se sont fragmentés en mars 2002, les premières crevasses étant apparues en 1987. Cette banquise était considérée comme stable depuis 10 000 ans³². Au mois d'avril 2009, la plaque Wilkins, dont la superficie était naguère de 16 000 km² s'est également détachée.

Les calottes polaires

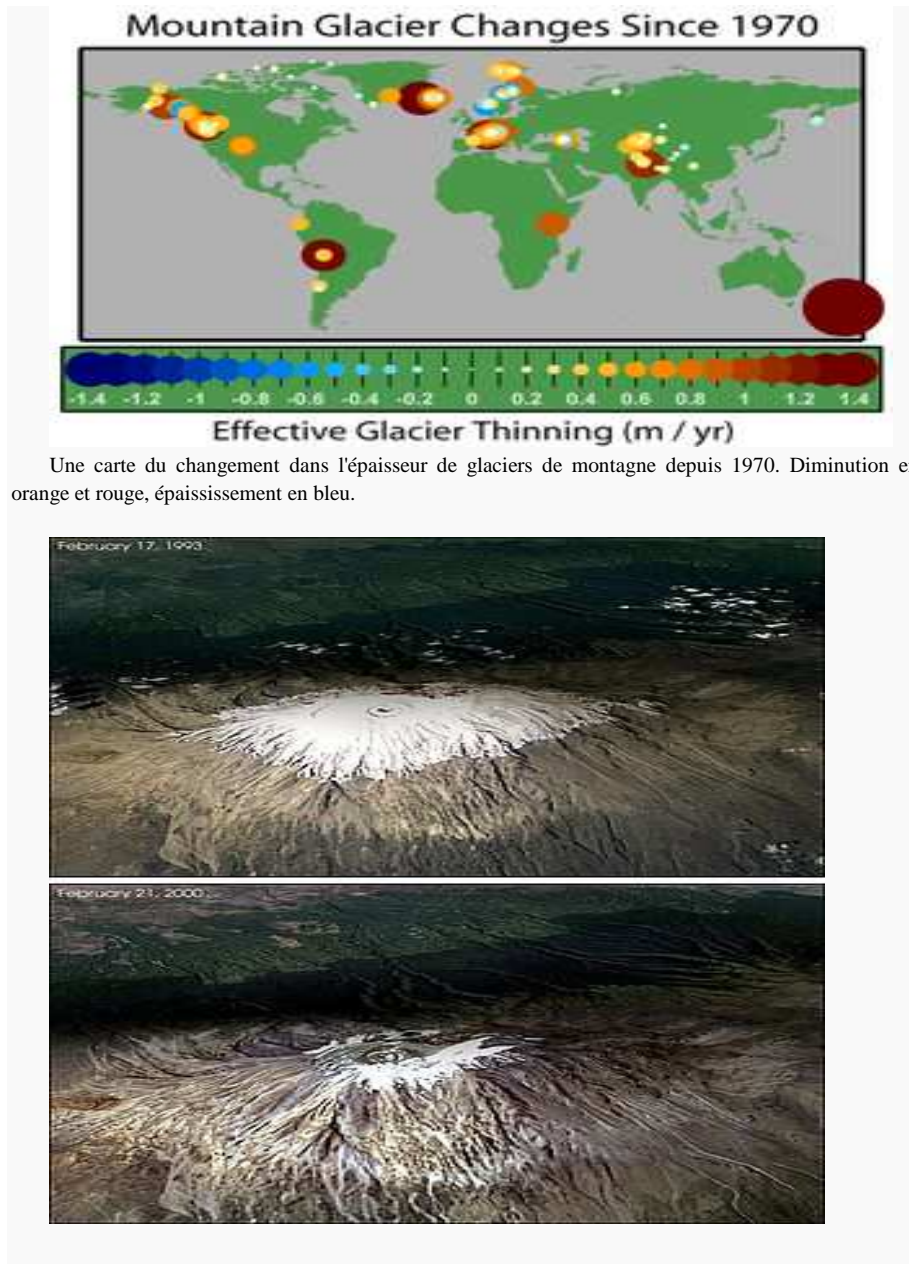
Le bilan des calottes polaires de l'Antarctique et du Groenland est négatif depuis une dizaine d'années, même si certaines régions de l'Antarctique s'épaississent par suite de précipitations neigeuses accrues. La perte de masse s'effectue dans les zones côtières en raison de l'écoulement rapide de certains glaciers vers l'océan.

La fonte du pergélisol

On observe un réchauffement et une fonte partielle du pergélisol arctique. Entre un tiers et la moitié du pergélisol de l'Alaska n'est plus qu'à un degré de la température de dégel. En Sibérie, des lacs issus de la fonte du pergélisol se forment, provoquant des dégagements importants de méthane. Le dégagement de méthane est de l'ordre de 14 à 35 millions de tonnes par an sur

l'ensemble des lacs arctiques. L'analyse au carbone 14 de ce méthane prouve que celui-ci était gelé depuis des milliers d'années.

Le recul des glaciers de montagne



Une carte du changement dans l'épaisseur de glaciers de montagne depuis 1970. Diminution en orange et rouge, épaissement en bleu.

Changement de l'accumulation des neiges au sommet du Kilimandjaro : première photo prise le 17 février 1993, seconde le 21 février 2000. Le Kilimandjaro a perdu 82 % de son glacier durant le XX^e siècle et celui-ci pourrait avoir disparu en 2020 selon un article paru dans le journal Science en 2002

À quelques exceptions près, la plupart des glaciers montagnards étudiés sont en phase de recul. Le recul des glaciers continentaux est observé de façon quasi généralisée depuis 3 à 4 décennies, avec une nette augmentation au cours des 20 dernières années.

De nombreux travaux ont cherché à expliquer ce recul. Un tel recul semble tout à fait cohérent avec un réchauffement du climat, cependant cette hypothèse n'est pas certaine, certains glaciers ayant commencé à reculer au milieu du XIX^e siècle après la fin du petit âge glaciaire. L'avancée ou le recul des glaciers sont récurrents et liés à de nombreux facteurs, parmi lesquels les précipitations ou le phénomène El Niño jouent un rôle important. Par exemple le recul actuel de la mer de Glace à Chamonix découvre des vestiges humains du Moyen Âge, preuve que le glacier a déjà reculé davantage que de nos jours à une période historiquement proche.

Le recul des glaciers de montagne, notamment à l'ouest de l'Amérique du Nord, en Asie, dans les Alpes, en Indonésie, en Afrique (dont le Kilimandjaro), et dans des régions tropicales et subtropicales d'Amérique du Sud, a été utilisé comme preuve qualitative de l'élévation des températures globales depuis la fin du XIX^e siècle par le GIEC dans son rapport de 2001.

Les causes du recul du glacier du Kilimandjaro en Afrique sont débattues et sont un bon exemple de la complexité du réchauffement climatique et de la circonspection nécessaire dans l'analyse des données. Pour certains climatologues, ce recul est dû à une diminution des chutes de neige depuis le XIX^e siècle. Pour d'autres, le réchauffement climatique est en cause, du fait que les glaciers tropicaux sont en phase de régression partout sur la planète et que les glaces du Kilimandjaro ont résisté à une longue sécheresse il y a 4000 ans.

En ce qui concerne les glaciers himalayens, il faut souligner le nombre limité de données. Par exemple, des données fiables n'existent que pour 50 glaciers indiens, sur plus de 9 500. Selon un rapport du ministère Indien de l'environnement, les glaciers de l'Himalaya qui constituent les sources des plus grandes rivières d'Asie — Gange, Indus, Brahmapoutre, Yangtze, Mekong, Salween et Huang He — sont en recul. Cependant ce rapport reste prudent dans ces conclusions¹⁴ :

« Il est prématuré d'affirmer que les glaciers himalayens reculent anormalement à cause du réchauffement climatique. Un glacier est influencé par tout un ensemble de facteurs physiques et par une interconnexion complexe des facteurs climatiques. »

Une augmentation du ruissellement saisonnier des glaciers de l'Himalaya a mené à une augmentation de la production agricole en Inde du nord au cours du XXe siècle⁴⁴. Les températures dans cette région ont crû de 0,15 °C à 0,6 °C tous les 10 ans au cours des 30 dernières années.

Faune et flore

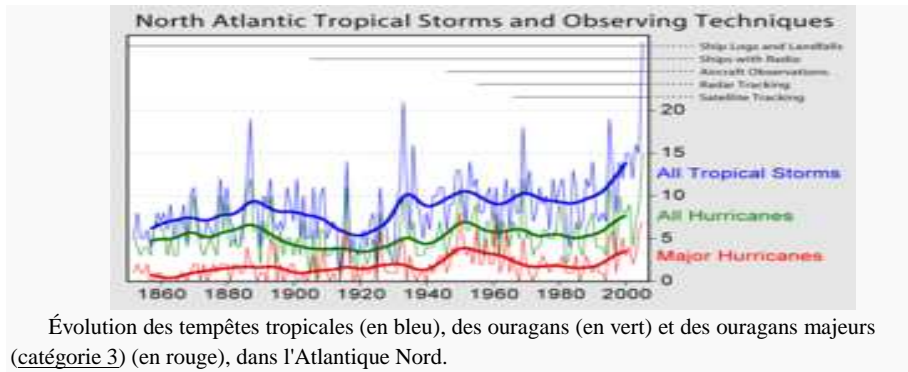
En mer, de nombreuses espèces de poissons remontent vers les pôles. Sur Terre, on observe aussi une modification de l'aire de répartition de différentes espèces animales et végétales. Cette modification est complexe et hétérogène. Dans certains cas, les espèces et écosystèmes reculent face à la désertification ou à la salinisation. Certaines limites d'aire de répartition montent plus haut en altitude, en particulier quand l'aire de l'espèce se déplace vers le nord (ou le sud dans l'hémisphère sud), ce qui ne doit pas cacher le fait qu'en réalité, localement au moins, l'optimum pour une espèce a pu fortement descendre en altitude (là où les milieux sont plus humides). Par exemple en Californie, pour 64 espèces végétales dont l'aire de répartition a été suivies depuis 1930 à 2010, la zone d'*optimum climatique* de ces plantes a diminué de 80 mètres d'altitude en moyenne. Dans tous ces cas, le réchauffement climatique est souvent proposé comme expliquant de

ces modifications. Paradoxalement, localement, suite aux courants froids résultant de la fonte accélérée de la calotte glaciaire, des refroidissements hivernaux peuvent affecter la faune. Ainsi au début de Février 2011, 1.600 tortues vertes (espèce en danger) engourdies par une eau inhabituellement froide se sont échouées sur et autour de South Padre Island (Texas). Elles sont alors plus vulnérables aux collisions avec les bateaux, à leurs prédateurs et aux échouages (sur les 860 premières tortues récupérée par des bénévoles, 750 ont survécu et ont pu être ensuite libérées). En Janvier 2010, plus de 4.600 tortues s'étaient échouées en Floride.

Ceci vaut aussi pour la faune terrestre. Par exemple, l'extension actuelle de l'aire de répartition de la chenille processionnaire du pin, qui a atteint Orléans en 1992 et Fontainebleau en 2005, pourrait être due au réchauffement climatique.

Le Muséum national d'histoire naturelle a mis en place depuis plusieurs années des systèmes de suivi des espèces. Le suivi temporel des oiseaux communs (STOC) montre par exemple qu'en vingt ans, les communautés d'oiseaux en France se sont globalement déplacées de 100 km vers le nord. Ces éléments peuvent avoir une grande importance pour les stratégies de protection et restauration de la biodiversité et des trames vertes et bleues nécessaires à leur déplacements (dont corridors climatiques le cas échéant). Ainsi les parcs nationaux surtout positionnés en montagne pourraient ne pas assez tenir compte d'un discret mais important phénomène de descente des "optimums" de certains végétaux qui vont souvent s'étendre sur des zones urbanisées et agricoles.

Cyclones tropicaux

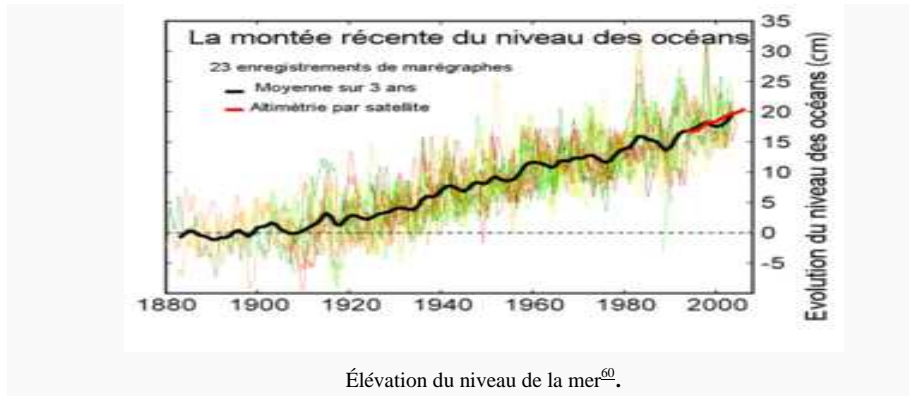


Le consensus scientifique dans le rapport de 2007 du GIEC est que l'intensité des cyclones tropicaux va probablement augmenter (avec une probabilité supérieure à 66 %).

Une étude publiée en 2005, remise en question depuis par une seconde étude, indique une augmentation globale de l'intensité des cyclones entre 1970 et 2004, le nombre total de cyclones étant en diminution pendant la même période. Selon cette étude, il est possible que cette augmentation d'intensité soit liée au réchauffement climatique, mais la période d'observation est trop courte et le rôle des cyclones dans les flux atmosphériques et océaniques n'est pas suffisamment connu pour que cette relation puisse être établie avec certitude. La seconde étude publiée un an plus tard ne montre pas d'augmentation significative de l'intensité des cyclones depuis 1986^{57,58}. Ryan Maue, de l'université de Floride, dans un article intitulé *Northern Hemisphere tropical cyclone activity*, observe pour sa part une baisse marquée de l'activité cyclonique depuis 2006 dans l'hémisphère nord par rapport aux trente dernières années⁵⁹. Il ajoute que la baisse est probablement plus marquée, les mesures datant de trente ans ne détectant pas les activités les plus faibles, ce que permettent les mesures d'aujourd'hui. Pour Maue, c'est possiblement un plus bas depuis cinquante ans que l'on observe en termes d'activité cyclonique.

Par ailleurs, les simulations informatiques ne permettent pas dans l'état actuel des connaissances de prévoir d'évolution significative du nombre de cyclones lié à un réchauffement climatique.

Le réchauffement des océans et l'élévation du niveau de la mer



On observe un réchauffement des océans, qui diminue avec la profondeur. L'élévation de température depuis 1960 est estimée à 0,6 °C pour les eaux de surface, et à 0,04 °C pour l'océan dans son ensemble.

On estime que les océans ont absorbé à ce jour 80 à 90 % de la chaleur ajoutée au système climatique. Ce réchauffement contribue pour 30 % à une montée du niveau de la mer par dilatation thermique des océans, 60 % de cette montée étant due à la fonte des glaces continentales (dont la moitié provient de la fonte des calottes polaires) et 10 % à un flux des eaux continentales vers les océans⁶¹. Les données proviennent des marégraphes mis en place depuis la fin du XIX^e siècle, secondés à partir des années 1990 par des satellites altimétriques. Leur analyse suggère que le niveau de la mer s'est élevé au cours du XX^e siècle de quelques dizaines de centimètres, et qu'il continue à s'élever régulièrement. On estime que le niveau de la mer s'est élevé de 1,8 mm par an entre 1961 et 2003 et de 3,4 mm par an depuis 1993^{61,3}. Cette élévation du niveau de la mer peut aussi être

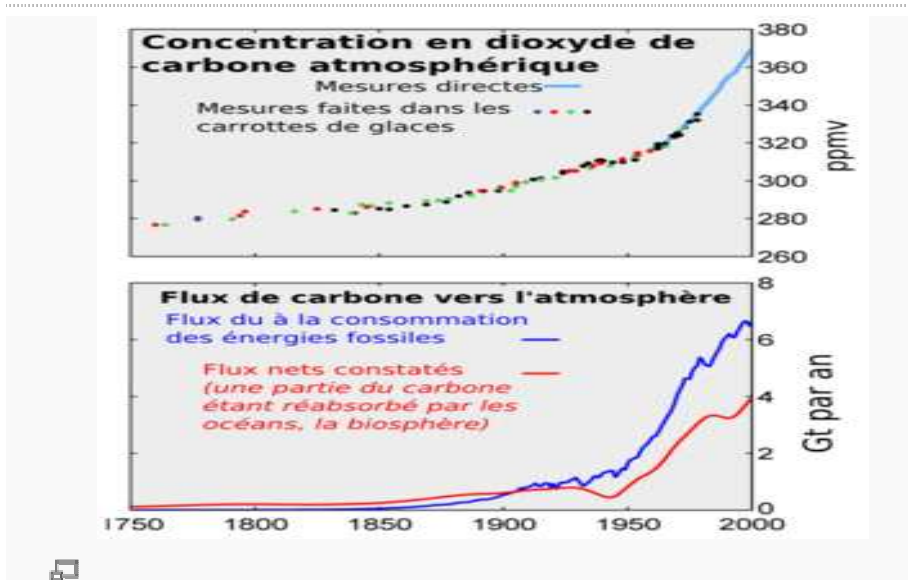
observée indirectement par ses conséquences sur l'environnement, comme c'est le cas au Nouveau-Brunswick⁶³.

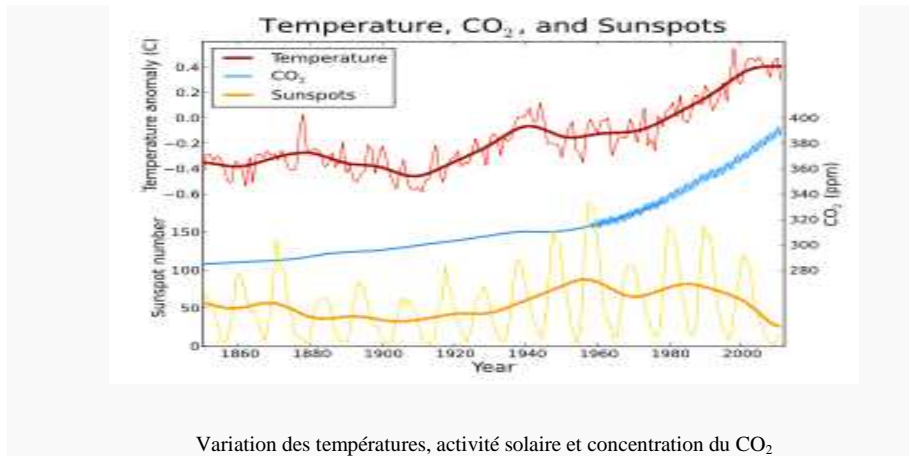
Dans le cadre du système *ARGO*, 3 000 balises automatiques ont été réparties dans tous les océans en 2007 et permettront de suivre la température et la salinité des océans jusqu'à 2 000 mètres de profondeur. En Atlantique Nord, des chercheurs de l'Ifremer Brest ont confirmé les tendances au réchauffement dans les couches de surface⁶⁴.

La courbe de la quantité de chaleur estimée dans les océans est mise à jour régulièrement par l'organisme américain de météorologie NOAA⁶⁵

Causes

Hypothèse d'un effet de serre additionnel





L'effet de serre est un phénomène naturel : une partie du rayonnement infrarouge émis par la Terre vers l'atmosphère terrestre reste piégée par les gaz dits « à effet de serre », augmentant ainsi la température de la basse atmosphère (troposphère). Ces gaz sont essentiellement de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone. Environ un tiers de ce dernier a été produit par l'homme. Sans cet effet, la température de surface de la Terre serait en moyenne de 33 °C inférieure soit -19 °C.

L'augmentation actuellement observée des quantités de gaz à effet de serre, comme le CO₂, contribue à renforcer l'effet de serre. Les concentrations actuelles de CO₂ dans l'atmosphère surpassent de loin les taux des 650 000 dernières années. Elles sont passées de 280 ppm en 1970 à 379 ppm en 2005, et celles de méthane sont passées de 715 ppb à 1 774 ppb.

Par ailleurs, la vitesse de croissance du taux de CO₂ dans l'atmosphère augmente également, passant de +1,5 ppm par an de 1970 à 2000, à +2,1 ppm par an entre 2000 et 2007⁷⁰. Il a été prouvé par l'étude isotopique du carbone dans l'air que cette augmentation des quantités de gaz à effet de serre est due pour plus de la moitié à la combustion de matière carbonée fossile¹¹, l'autre partie étant due essentiellement aux déboisements massifs

Selon le quatrième rapport du GIEC, 49 milliards de tonnes équivalent CO₂ sont émises annuellement par les activités humaines, réparties comme suit :

- la part due au secteur énergétique est de 25,9 % ;
- suivie par l'industrie à 19,4 % ;
- le secteur forestier à 17,4 % ;
- l'agriculture à 13,5 % ;
- les transports à 13,1 % ;
- les habitations à 7,9 % ;
- les déchets et eaux usées à 2,8 %.

L'hypothèse d'un lien entre la température moyenne du globe et le taux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère a été formulée pour la première fois en 1895 par le Prix Nobel de Chimie Svante Arrhenius. Svante Arrhenius a démontré que l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère risquait d'accroître très significativement la température de la planète. Il avait calculé qu'un doublement de la teneur en CO₂ pourrait provoquer un réchauffement de 4 à 6 °C, des valeurs en cohérence avec les modélisations du XXI^e siècle. Cet élément montre l'ancienneté d'une théorie scientifique du réchauffement climatique.

L'augmentation de l'effet de serre induit par l'ensemble des gaz à effet de serre est estimée à 2,3 W/m². Les variations d'énergie rayonnée par le Soleil durant ses cycles d'activité est dix fois plus faible. L'éventuelle influence sur la formation des nuages d'un rayonnement cosmique galactique modulé par le vent solaire est actuellement à l'étude.

Validation de l'hypothèse

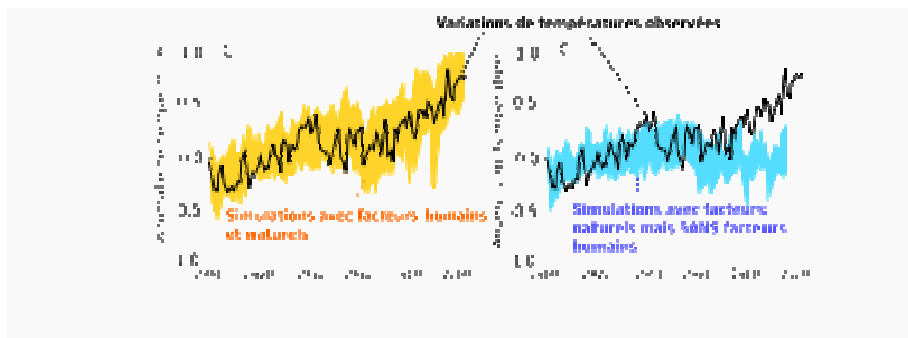


Le supercalculateur Earth Simulator a contribué à étudier l'origine du réchauffement climatique.

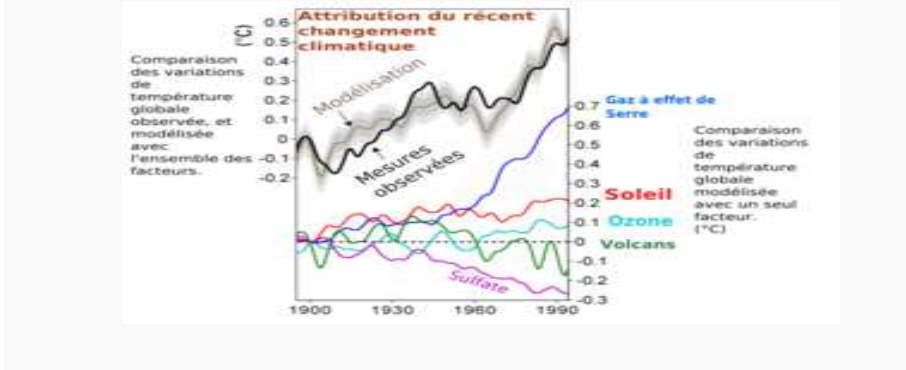
Selon les conclusions du rapport de 2001 des scientifiques du GIEC, la cause la plus probable de ce réchauffement dans la seconde moitié du XX^e siècle serait le « forçage anthropique », c'est-à-dire l'augmentation dans l'atmosphère des gaz à effet de serre résultant de l'activité humaine⁷⁵. Le degré de certitude a été augmenté dans le rapport 2007 du GIEC, qui qualifie de *très probable* le fait que le réchauffement climatique soit dû à l'activité humaine.

Selon les prévisions actuelles, le réchauffement planétaire se poursuivrait au cours du XXI^e siècle mais son amplitude est débattue : selon les hypothèses retenues et les modèles employés, les prévisions pour les 50 années à venir vont de 1,8 à 3,4 °C.

Méthode scientifique: la modélisation



Comparaison des variations de température, observées et simulées, avec et sans facteurs anthropiques (par rapport à la moyenne de la période 1901-1950).



Leurs conclusions sont tirées des résultats d'expériences avec des modèles numériques⁷⁶

Ces modèles tiennent compte de deux types de mécanismes :

- ceux qui sont suffisamment bien compris pour pouvoir être traduits en équation. Il s'agit essentiellement de la circulation de l'atmosphère, des phénomènes de forçage radiatif, et de l'hydrodynamique de la circulation océanique. La précision des prévisions basées sur ces mécanismes est limitée par la limitation spatiale et temporelle due à la puissance des ordinateurs et à l'efficacité des algorithmes de calcul utilisés ;
- ceux dont la modélisation est empirique. Telle est en particulier l'effet des nuages, la taille des mailles des modèles actuels ne permettant de ne traiter ceux-ci que sous un aspect statistique. Il en est de même pour l'albédo de la végétation, qui est déduite de mesures d'observation.

Hypothèses à tester

Les modèles numériques ont été utilisés pour estimer l'importance relative des divers facteurs naturels et humains au travers de simulations menées sur des supercalculateurs, pour identifier le ou les facteurs à l'origine de la brutale hausse de température. Plusieurs hypothèses ont été testées :

1. les fluctuations cycliques de l'activité solaire ;
2. la rétention de la chaleur par l'atmosphère, amplifiée par les gaz à effet de serre ;
3. la modification de la réflectivité de la surface terrestre — l'albédo — par la déforestation, l'avancée des déserts, l'agriculture, le recul des glaces, neiges et glaciers, mais aussi par les cirrus artificiels créés par les traînés des avions et l'étalement urbain ;
4. les émissions volcaniques.

Certaines de ces causes sont d'origine humaine, comme la déforestation et la production de dioxyde de carbone par combustion de matière fossile. D'autres sont naturelles, comme l'activité solaire ou les émissions volcaniques.

Résultats

Les simulations climatiques montrent que le réchauffement observé de 1910 à 1945 peut être expliqué par les seules variations du rayonnement solaire (voir changement climatique)^[réf. nécessaire]. En revanche, pour obtenir le réchauffement observé de 1976 à 2006 (voir graphique), on constate qu'il faut prendre en compte les émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine. Les modélisations effectuées depuis 2001 estiment que le forçage radiatif anthropique est dix fois supérieur au forçage radiatif dû à des variations de l'activité solaire, bien que le forçage dû aux aérosols soit négatif.

Le point essentiel est que le forçage radiatif net est positif^{cl1}. En particulier, l'augmentation de la température moyenne mondiale depuis 2001 est en accord avec les prévisions faites par le GIEC depuis 1990 sur le réchauffement induit par les gaz à effets de serre. Enfin, un réchauffement uniquement dû à l'activité solaire n'expliquerait pas pourquoi la troposphère verrait sa température augmenter et pas celle de la stratosphère.

Conséquences environnementales prévues

Dans ce domaine, un certain nombre de conséquences du réchauffement climatique sont l'objet d'un consensus parmi les climatologues. Peut-être citées :

La montée des eaux

Une des conséquences du réchauffement planétaire sur lesquelles s'accordent les scientifiques est une montée du niveau des océans. Deux phénomènes engendrent cette élévation :

- l'augmentation du volume de l'eau due à son réchauffement (dilatation thermique) ;
- l'apport d'eau supplémentaire provenant de la fonte des glaciers continentaux et des calottes polaires. Ce dernier phénomène s'étale sur une longue durée, la fonte des glaciers se mesurant à l'échelle de plusieurs décennies, et celle des calottes polaires sur plusieurs siècles ou millénaires. De même que pour les températures, les incertitudes concernant le niveau de la mer sont liées aux modèles, d'une part, et aux émissions futures de gaz à effet de serre, d'autre part.

L'élévation entre 1993 et 2003 est estimée à 3,1 mm par an (plus ou moins 0,7 mm). L'élévation prévue du niveau de la mer en 2100 est de 18 à 59 cm, selon le quatrième rapport du Giec. Il s'agit probablement d'une estimation minimaliste, car les prévisions du Giec sont basées uniquement sur le réchauffement futur de l'océan et la fonte prévue des glaciers de montagne, en excluant les phénomènes liés à une instabilité possible des calottes polaires, récemment mis en évidence.

Une montée des eaux de quelques centimètres n'a pas d'impact très visible sur les côtes rocheuses, mais peut avoir des effets très importants sur la dynamique sédimentaire des côtes plates : dans ces régions, qui sont en équilibre dynamique, la montée des eaux renforce les capacités érosives de la mer, et déplace donc globalement l'équilibre vers une reprise de l'érosion qui fait reculer les côtes. La

montée du niveau moyen de la mer a ainsi des effets beaucoup plus importants que la simple translation de la ligne de côte jusqu'aux courbes de niveau correspondantes.

Les précipitations

Selon le dernier rapport du Giec, une augmentation des précipitations aux latitudes élevées est très probable tandis que dans les régions subtropicales, on s'attend à une diminution, poursuivant une tendance déjà constatée, même si d'autres experts tempèrent cela, estimant les données trop rares et incomplètes pour pouvoir dégager une tendance actuelle à la hausse ou à la baisse. Selon des études, à l'horizon 2025, un tiers de la population mondiale pourrait se trouver en état de stress hydrique; le réchauffement aurait tantôt un effet positif, tantôt un effet négatif, la balance entre les deux dépendant dans du mode de comptage adopté.

La circulation thermohaline

La circulation thermohaline désigne les mouvements d'eau froide et salée vers les fonds océaniques qui prennent place aux hautes latitudes de l'hémisphère nord. Ce phénomène serait, avec d'autres, responsable du renouvellement des eaux profondes océaniques et de la relative douceur du climat européen.

En cas de réchauffement climatique, le moteur qui anime les courants marins serait menacé. En effet, les courants acquièrent leur énergie cinétique lors de la plongée des eaux froides et salées, et donc denses, dans les profondeurs de l'océan Arctique. Or, l'augmentation de la température devrait accroître l'évaporation dans les régions tropicales et les précipitations dans les régions de plus haute latitude. L'océan Atlantique, en se réchauffant, recevrait alors plus de pluies, et en parallèle la calotte glaciaire pourrait partiellement fondre (voir Événement de Heinrich). Dans de telles circonstances, une des conséquences directes serait un apport massif d'eau douce aux abords des pôles, entraînant une diminution de la salinité marine et donc de la densité des eaux de surface. Cela peut empêcher leur

plongée dans les abysses océaniques. Ainsi, les courants tels que le Gulf Stream pourraient ralentir ou s'arrêter, et ne plus assurer les échanges thermiques actuels entre l'équateur et les zones tempérées. Pour le XXI^e siècle, le Giec considérait dans son rapport 2007 comme très probable un ralentissement de la circulation thermohaline dans l'Atlantique, mais comme très improbable un changement brusque de cette circulation.

Glaces et couverture neigeuse

Les scientifiques du Giec prévoient, pour le XXI^e siècle une diminution de la couverture neigeuse, et un retrait des banquises. Les glaciers et calottes glaciaires de l'hémisphère nord devraient aussi continuer à reculer, les glaciers situés à moins de 3 400 m d'altitude pouvant être amenés à disparaître.

En revanche, l'évolution de la calotte glaciaire antarctique au cours du XXI^e siècle est plus difficile à prévoir.

En 2006 une équipe de chercheurs américains a mis en évidence un lien entre l'activité humaine et l'effondrement de plates-formes de glace dans l'Antarctique. Les réchauffements locaux seraient dus à un changement de direction des vents dominants, cette modification étant elle-même due à l'augmentation de la concentration de l'air en gaz à effet de serre et la dégradation de la couche d'ozone en Antarctique à cause des CFC d'origine humaine.

Toutefois, selon une lettre envoyée au journal *Nature*, ces réchauffements ne s'observent que localement. En effet, l'Antarctique connaît globalement un climat de plus en plus froid et sa couverture glacée est en expansion, les élévations de la température dans ces secteurs très froids se révélant favorables à une augmentation des précipitations neigeuses donc à terme, à une augmentation des volumes de glace.

Cependant, la quantité de glace de l'Antarctique déversée dans les mers a augmenté de 75 % durant les dix années précédant 2008. Ce phénomène risque de s'amplifier en raison de la disparition de la

banquise qui cesse alors d'opposer un obstacle au déversement des glaciers dans l'océan.

Conséquences brusques ou irréversibles, et prospectives

Selon le Giec, « le réchauffement anthropique de la planète pourrait entraîner certains effets qui sont brusques ou irréversibles, selon le rythme et l'ampleur des changements climatiques ».

- On prévoit une augmentation du niveau de la mer de quelques dizaines de centimètres d'ici 2100, mais au cours des siècles et des millénaires suivant, la fonte partielle des calottes polaires pourrait relever de plusieurs mètres le niveau marin, en inondant les zones côtières basses, certaines îles basses et les deltas.

- Environ 20 à 30 % des espèces évaluées à ce jour sont susceptibles d'être exposées à un risque accru d'extinction si l'augmentation du réchauffement mondial moyen dépasse 1,5 à 2,5 °C (par rapport à 1980 - 1999). Avec une augmentation de la température mondiale moyenne supérieure d'environ 3,5 °C, les projections des modèles indiquent des extinctions (de 40 à 70 % des espèces évaluées) dans le monde entier. En mai 2008, les États-Unis ont inscrit l'ours blanc d'Alaska sur la liste des espèces menacées.

- Le réchauffement pourrait induire un effet rebond irréversible à échelle humaine de temps s'il amorce des incendies de forêts et un dégazage important de méthane des pergélisols et fonds marins. La quantité de méthane actuellement dégagée par le pergélisol en train de fondre est de l'ordre de 14 à 35 millions de tonnes par an. On estime que cette quantité s'élèvera de 100 à 200 millions de tonnes par an d'ici 2100, menant à elle seule à une élévation de température de l'ordre de 0,3 °C. Au cours des prochains siècles, 50 milliards de tonnes de méthane pourraient être dégagés par les lacs thermokarstiques sibériens.

- Des effets indirects sur le sol et sous-sols, dont effondrements de cavités souterraines (carrières, anciens abris souterrains, sapes de guerre, marnières etc.) sont attendus. L'eau plus chaude et plus acide, et des pluies hivernales plus intenses, ainsi que des chocs thermiques et

mouvements de nappe accrus pourraient exacerber ce risque avant la fin du siècle.

Conséquences du réchauffement climatique sur l'homme et la biosphère

Au-delà des conséquences directes, physiques et climatiques, du réchauffement planétaire, celui-ci influera sur les écosystèmes, en particulier en modifiant la biodiversité.

Les scientifiques commencent à proposer des projections jugées relativement fiables du devenir de la biodiversité sur la base de 5 facteurs déterminants : la dégradation et la destruction des habitats, le changement climatique, la disponibilité des éléments nutritifs, la surexploitation des ressources biologiques et les espèces invasives.

La convention sur la diversité biologique (CDB) a en 2010 proposé des scénarios de réponses de la biodiversité face au changement global. Ces outils prospectifs issus de modèles statistiques, d'expérimentations et des tendances observées visent à aider le dialogue.

Selon le Giec, la capacité de nombreux écosystèmes à s'adapter naturellement sera probablement dépassée par la combinaison sans précédent des :

- bouleversements climatiques : inondations, incendies de forêts, sècheresses, insectes, acidification des océans ;
- changements mondiaux : changements d'affectation des sols (déboisement, barrages, ...), pollution, surexploitation des ressources.

Le déséquilibre naturel qui s'en suivra pourrait entraîner la disparition de plusieurs espèces animales et végétales. C'est une préoccupation dont les États, commencent à tenir compte. Pour l'ensemble des populations humaines, ces effets « physiques » et « écologiques » auront de fortes répercussions¹⁴.

Au niveau biologique et écologique, un consensus scientifique a été atteint sur les points suivants :

- certaines espèces verront peut-être (et éventuellement provisoirement) leur population et leur aire de répartition augmenter (par exemple pour la marmotte à ventre jaune), mais le bilan global du réchauffement climatique en termes de biodiversité sera négatif selon un certain nombre d'études et selon le consensus du quatrième rapport du Giec qui envisage la disparition de 40 à 70 % des espèces évaluées ;

- certains systèmes naturels seront plus affectés que d'autres par le réchauffement planétaire. Les systèmes les plus sensibles seraient : les glaciers, les récifs coralliens, les mangroves, les forêts boréales et tropicales, les écosystèmes polaires et alpins, les prairies humides. Le blanchissement des récifs coralliens a été observé pour la première fois dès 1979 dans les Antilles¹². Ce phénomène s'est développé régulièrement dans l'espace et le temps à des échelles toujours plus grandes, par exemple à l'échelle de l'océan Indien en 1998. Si le réchauffement continue au rythme actuel, on craint une extinction de masse des récifs coralliens à l'échelle planétaire à partir de 2015 / 2020 ;

- les dommages causés aux systèmes naturels, que ce soit par leur ampleur géographique ou leur intensité, seront proportionnels à l'intensité et à la rapidité du réchauffement planétaire.

Conséquences négatives pour l'humanité

Le Giec prévoit des conséquences négatives majeures pour l'humanité au XXI^e siècle :

- une baisse des rendements agricoles potentiels dans la plupart des zones tropicales et subtropicales ;
- une diminution des ressources en eau dans la plupart des régions sèches tropicales et subtropicales ;
- une diminution du débit des sources d'eau issues de la fonte des glaces et des neiges, suite à la disparition de ces glaces et de ces neiges.

- une augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes comme les pluies torrentielles, les tempêtes et les sécheresses, ainsi qu'une augmentation de l'impact de ces phénomènes sur l'agriculture ;
- une augmentation des feux de forêt durant des étés plus chauds ;
- l'extension des zones infestées par des maladies comme le choléra ou le paludisme. Ce risque est fortement minimisé par le professeur spécialiste Paul Reiter mais le gouvernement du Royaume-Uni fait remarquer que ce professeur a choisi d'ignorer tous les rapports récents qui le contredisent ;
- des risques d'inondation accrus, à la fois à cause de l'élévation du niveau de la mer et de modifications du climat ;
- une plus forte consommation d'énergie à des fins de climatisation ;
- une baisse des rendements agricoles potentiels aux latitudes moyennes et élevées (dans l'hypothèse d'un réchauffement fort).

Conséquences positives pour l'humanité

Elles sont aussi associées au réchauffement prévu au XXI^e siècle :

- une plus faible mortalité hivernale aux moyennes et hautes latitudes ;
- une augmentation éventuelle des ressources en eau dans certaines régions sèches tropicales et subtropicales ;
- une hausse des rendements agricoles potentiels dans certaines régions aux latitudes moyennes (dans l'hypothèse d'un réchauffement faible) ;
- l'ouverture de nouvelles voies maritimes dans l'arctique canadien suite à la fonte des glaces dans le passage du Nord-Ouest.

L'impact sur les régions côtières

La montée du niveau de la mer est évaluée entre 18 et 59 cm d'ici 2100 par le quatrième rapport du GIEC. Cette montée s'ajoute à des phénomènes qui ne sont pas liés au climat et qui entraînent un enfoncement du sol : charge des sédiments dans les deltas des fleuves,

pompage des eaux souterraines, extraction de gaz et de pétrole ... Les populations de certaines îles de l'océan Pacifique ou de l'océan Indien, telles que les îles Maldives ou Tuvalu, sont directement menacées, car une partie de leur territoire pourrait se retrouver submergée. Mais l'ensemble des populations vivant dans des régions côtières (soit plus de cinq cent millions de personnes) risquent de voir leur environnement dégradé (érosion du littoral, salinité des aquifères, disparition des zones humides, inondations permanentes).

Agriculture et pêcheries

L'accroissement de l'évaporation devrait augmenter localement la pluviosité hivernale, sauf dans les pays méditerranéens qui verraient la sécheresse s'accroître, dans un contexte où la violence et / ou la fréquence et gravité des aléas climatiques pourraient croître.

En zone tempérée et circumpolaire, dans un premier temps, la conjonction du réchauffement et de l'augmentation du taux de CO₂ dans l'air et les pluies pourrait accroître la productivité des écosystèmes. L'agriculture du Nord des États-Unis, du Canada, de la Russie et des pays nordiques pourrait peut-être en profiter, mais des signes de dépérissement forestier semblent déjà visibles dans ces zones.

On ignore aussi à partir de quand les écosystèmes marins réagiront négativement à l'acidification des océans qu'entraîne la dissolution de quantités croissantes de CO₂. Des organismes tels que levures ou plantes (ex : *Arabidopsis thaliana*) sont - grâce à une seule protéine(histone H2A.Z) pour l'arabette - sensibles à des variations de température de moins de 1 °C, qui suffisent *via* cette protéine à modifier l'enroulement de l'ADN sur lui-même, ce qui contrôle l'accès à l'ADN de certaines molécules inhibant ou activant plusieurs dizaines de gènes. Ceci devrait aider à mieux comprendre certains effets (sur les gènes) du réchauffement climatique.

Forêt et sylviculture

Selon une étude conduite par Thomas Veblen professeur de géographie à l'Université du Colorado, coauteur avec l'Institut de géophysique américain, menée sur des parcelles forestières de l'ouest des États-Unis sur les périodes 1955/1994 et 1998/2007, en 30 ans, un réchauffement moyen de 0,5 °C a déjà doublé le taux de mortalité des arbres des grandes forêts de l'ouest américain, en favorisant les sécheresses et pullulations de ravageurs (dont scolytes qui ont par exemple détruit environ 1,4 million d'hectares de pins dans le nord-ouest du Colorado).

Selon cette étude, le manque de neige induit un déficit hydrique et un allongement des sécheresses estivales, avec multiplication des incendies, ce qui laisse craindre des impacts en cascade sur la faune et les écosystèmes.

En France, selon les prévisions de l'INRA, plusieurs essences ne survivront pas dans la moitié sud de la France et plusieurs ravageurs des arbres pourraient continuer à remonter vers le nord¹³.

Économie

Un rapport de 700 pages de sir Nicholas Stern, économiste anglais, estime que le réchauffement climatique entraînerait un coût économique de 5 500 milliards d'euros en tenant compte de l'ensemble des générations (présente et futures) ayant à en subir les conséquences.

En 2007, pour la première fois, le *World monuments fund* (WMEF, *Fonds mondial pour les monuments*) a introduit les modifications climatiques dans la liste des menaces pour 100 sites, monuments et chefs-d'œuvre de l'architecture menacés, les autres menaces principales étant les guerres et conflits politiques, et le développement industriel et urbain anarchique.

Santé

Des conséquences sanitaires des phénomènes climatiques sont redoutées : le quatrième rapport du Giec met en avant certains effets sur la santé humaine, tels que « la mortalité associée à la chaleur en Europe, les vecteurs de maladies infectieuses dans diverses régions et les allergies aux pollens aux latitudes moyennes et élevées de l'hémisphère nord » ou l'émergence ou réémergence de maladies infectieuses¹⁴.

Les changements climatiques pourront modifier la distribution géographique de certaines maladies infectieuses. Des températures élevées dans les régions chaudes pourraient réduire l'extension du parasite responsable de la bilharziose. Mais le paludisme fait sa réapparition au nord et au sud des tropiques. Aux États-Unis, cette maladie était en général limitée à la Californie, mais depuis 1990, des épidémies sont apparues dans d'autres États, tels le Texas, la Floride, mais aussi New York. Il est également réapparu dans des zones où il était peu fréquent, telles le sud de l'Europe et de la Russie ou le long de l'océan Indien.

Une déstabilisation géopolitique mondiale

Selon un rapport de 2003 commandé par le département de la Défense des États-Unis et selon un rapport de 2007 du programme des Nations unies pour l'environnement (UNEP), le réchauffement climatique pourrait entraîner des phénomènes de déstabilisation mondiale, avec des risques de guerre civile.

Le réchauffement climatique et son influence sur les changements environnementaux, couplés à des facteurs politiques ou économiques, sont pris en compte dans l'étude d'éventuelles migrations forcées de population.

Références bibliographiques

- 1- The IPCC 4th Assessment Report is coming out A picture of climate change (ipcc en anglais), 2007, consulté le 20-05-2009.
- 2- Rapport de l'Académie des sciences, 2010, "les changements climatiques", p12-16, consulté le 16-03-2010.
- 3- Rapport de l'Académie des sciences, 2010, "les changements climatiques", p10-11-12-14-, consulté le 25-11-2010.
- 4- Holli Riebeek et Robert Simmon, «Paléoclimatologie:enregistrement des données provenant de l'étude des calottes glacières», observatoire de la Terre, la NASA, 19-12-2005, consulté le 22/06/2011.
- 5-Isabelle Touchart, "Epica fait parler les calottes glacières de l'Antractique",13-03-2008,in Quotidien de l'environnement, consulté le 30/07/2011.
- 6-Emmanuel Le Roy Ladurie, "in" Histoire humaine et comparée du climat, Canicules et glaciers, XIIIème - XVIIIème siècles", Fayard (2004), p. 8-9
- 7- M. Garnier, « Les hivers de 1400 à 1800 », mémorial de la météorologie nationale, Aletre Météo 1967, consulté le 19/06/2011.
- 8- http://www.academie-sciences.fr/publications/rapports/pdf/climat_26. Consulté le 10/07/2011.
- 9-W. Collins, R. Colman, J. Haywood, M. Manning et Ph. Mote, « Réchauffement climatique, le temps des certitudes », dans Pour la science, n°360, Octobre 2007, p 68-75.
- 10-GRID-Arendal, « *Maps and Graphics library* », Programme des Nations unies pour l'environnement, 2008. Consulté le 10/05/20011.
- 11-Jay R. Malcolm, Canran Liu, Ronald P. Neilson, Lara Hansens et Lee Hannah, « Global Warming and Extinctions of Endemic Species from Biodiversity Hotspots », dans *Conservation Biology*, vol. 20, n° 2, 24 février 2006, p. 538-548
- 12-V. Ramanathan, « The greenhouse theory of climate change: a test by an inadvertent global experiment », dans *Science*, vol. 240, n°4850 15 avril 1988, p. 293-299.
- 13- <http://www.scientific.micropolis-aveyron.com/fr/collaborations-scientifiques/chenille-processionnaire-pin/processionnaire-recherche>. Consulté le 22/03/2011.
- 14- Impacts sanitaires du changement climatique en France. Quels enjeux pour l'InVS, rapport de la commission française de santé publique n°85 du 13 avril 2007, p.13,14. Consulté le 28/06/2011.