

# Réchauffement climatique

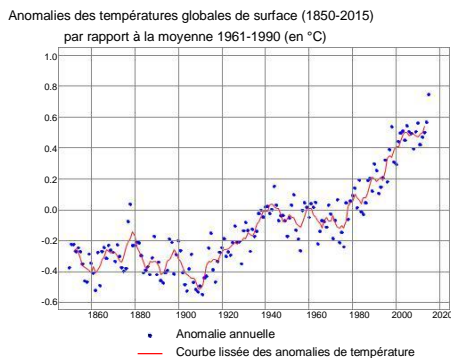


*Vous lisez un « bon article ».*



Cet article concerne le réchauffement climatique. Pour les variations cycliques de l'histoire du climat avant 1850, voir [changement climatique](#).

Le **réchauffement climatique**, également appelé **ré-**



Graphique des anomalies<sup>[1]</sup> des températures globales moyennes de surface par rapport à la moyenne 1961-1990 (sur la base des données du [Office britannique de météorologie](#)).

**chauffement planétaire** (et parfois **réchauffement global** par mauvaise traduction du faux ami anglais *global*), est un phénomène d'augmentation des **températures** sur la plus grande partie des **océans** et de l'**atmosphère terrestre**, mesuré à l'échelle **mondiale** sur plusieurs décennies, et qui traduit une augmentation de la quantité de chaleur rete-nue à la surface terrestre. Dans son acception commune, ce terme est appliqué à une tendance au réchauffement global observé depuis le début du **XX<sup>e</sup>** siècle, entraînant, entre autres conséquences, un **changement** (ou **dérègle-ment**) **climatique global**.

En 1988, l'ONU crée le **Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat** (GIEC) chargé de faire une synthèse des études scientifiques sur cette question. Dans son **quatrième rapport**, auquel ont participé plus de 2 500 scientifiques de 130 pays<sup>[2]</sup>, le GIEC affirme que le réchauffement climatique depuis 1950 est *très probablement*<sup>[c 1]</sup> dû à l'augmentation des **gaz à effet de serre** d'origine anthropique. Les conclusions du GIEC ont été **approuvées** par plus de quarante sociétés scientifiques et académies des sciences, y compris l'ensemble des académies nationales des sciences des **grands pays industrialisés**<sup>[3]</sup>. Dans une étude publiée fin 2012, qui a compilé et comparé des simulations issues de vingt modèles informatiques différents et des informations issues des observations satellites, une équipe de climatologues du **Laboratoire national de Lawrence Livermore**<sup>[4]</sup>

du **département de l'Énergie des États-Unis (DoE)** et de 16 autres organisations a conclu que les changements de température de la troposphère et de la stratosphère sont bien réels et qu'ils sont clairement liés aux activités humaines<sup>[5]</sup>.

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<sup>e</sup>** 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** et des autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

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**. Néanmoins l'impact économique, sociologique, environnemental voire géopolitique de ces projections est globalement négatif à moyen et **long terme**<sup>[6]</sup>.

## 1 Observations liées au réchauffement climatique actuel

Divers changements observés dans le monde ont conduit à la conclusion de l'existence d'un réchauffement climatique planétaire :

**En France**, un **observatoire national sur les effets du ré-chauffement climatique** (ONERC), créé en 2001, compile les observations.

**En Europe**, la dernière évaluation (2012, par l'**AEE**)<sup>[7]</sup> a conclu à l'imminence de nouveaux impacts négatifs, dont économiques ; comme prévu par la plupart des modèles, les températures moyennes ont augmenté en Europe, et les précipitations ont diminué au sud et augmenté au Nord. Les glaces arctiques et groenlandaises ont continué à régresser, de même que de nombreux gla-

ciers européens (les glaciers alpins ont presque perdu deux tiers de leur masse de 1850 à 2010), alors que le **permafrost** s'est réchauffé et que le manteau neigeux tend à diminuer<sup>[7]</sup>. Les crises climatiques (pics et vagues de chaleur, inondations, sécheresses) sont de plus en plus coûteuses en Europe, et inégalement réparties (notamment car les activités humaines sont croissantes dans les zones à risque ; zones qui devraient s'agrandir avec le dérèglement climatique)<sup>[7]</sup>. Sans dispositifs d'adaptation, les coûts générés par des événements extrêmes attendus (plus intenses et plus fréquents) devraient régulièrement augmenter et aggraver certaines inégalités. Selon Jacqueline McGlade, directrice de l'AEE<sup>[8]</sup>, tous les acteurs de l'économie, dont les ménages, doivent s'adapter et réduire leurs émissions.

En Europe, la décennie 2002-2011 a été la plus chaude depuis que l'on dispose de données météorologiques (températures moyenne du sol dépassant de 1,3 °C la moyenne « préindustrielle » et qui pourraient après 2050 dépasser de 2,5 à 4 °C la moyenne des années 1961-1990).

Des dizaines de milliers de morts sont attribuées aux vagues de chaleur (plus fréquentes, plus longues)<sup>[7]</sup>. Le nombre de morts de froid en Europe devrait en revanche diminuer<sup>[7]</sup>. Les inondations devraient augmenter au nord et les sécheresses au sud. L'**Arctique** se réchauffe plus vite que les autres régions européennes, entraînant un doublement de la fonte de la calotte groenlandaise de 1990 à 2010 (250 milliards de tonnes de glace perdues/an de 2005 à 2009). La mer a monté en Europe d'environ 1,7 mm/an au cours du XX<sup>e</sup> siècle, avec une accélération (3 mm/an) au cours des dernières décennies, avec des variations **isostatiques** locales<sup>[7]</sup>. Des impacts sont attendus sur la flore (floraison plus précoce et/ou tardive, maladies des arbres..., mais aussi sur la faune : **zoonoses**, changement d'aire de répartition) et les maladies (tiques, certains moustiques et **phlébotomes** remontent plus au nord et en altitude). La saison pollinique est en 2012 plus longue d'environ dix jours qu'en 1960<sup>[7]</sup>. Le plancton se modifie et — hors milieux marins — la vitesse de migration/adaptation de beaucoup d'espèces est insuffisante par rapport à la rapidité des dérèglements biogéoclimatiques, ce qui aggrave les risques de disparition. Les rendements agricoles devraient diminuer au sud et peut-être augmenter au nord<sup>[7]</sup>. Le chauffage hivernal est moins nécessaire, mais la climatisation estivale compense ces économies à la saison où les réacteurs nucléaires sont le plus à l'arrêt ou commencent parfois déjà à manquer d'eau pour leur refroidissement<sup>[réf. insuffisante]</sup><sup>[9]</sup>. Une nouvelle stratégie d'adaptation européenne est en préparation pour mars 2013<sup>[10]</sup>. Un site internet Climate-ADAPT offre de l'information et des conseils sur l'adaptation au changement climatique.

Selon **Greenpeace**, le réchauffement se traduit par un dérèglement climatique général déjà perceptible. Les événements météorologiques extrêmes sont de plus en plus fréquents, de plus en plus intenses : canicules,

sécheresses, inondations dues à des crues exceptionnelles, tempêtes, etc<sup>[11]</sup>.

## 1.1 Évolution des températures

Les **mesures terrestres de température** réalisées au cours du XX<sup>e</sup> siècle montrent une élévation de la température sur la majorité de la surface terrestre. L'élévation de cette température est constatée en mesurant en divers points du globe l'écart entre la température actuelle et une température prise comme référence (le plus souvent la température moyenne sur une période donnée au point considéré), puis en calculant la moyenne pondérée de ces écarts<sup>[12]</sup>. On observe alors que la moyenne de ces écarts a tendance à augmenter au cours des dernières décennies. Dans la suite de l'article, cette observation sera indiquée par la périphrase *augmentation de la température moyenne*.

Le réchauffement observé se serait déroulé en deux phases, la première de 1910 à 1945, la seconde de 1976 à aujourd'hui<sup>[13]</sup>. 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'azote**<sup>[14]</sup>.

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<sup>[17],[18]</sup>.

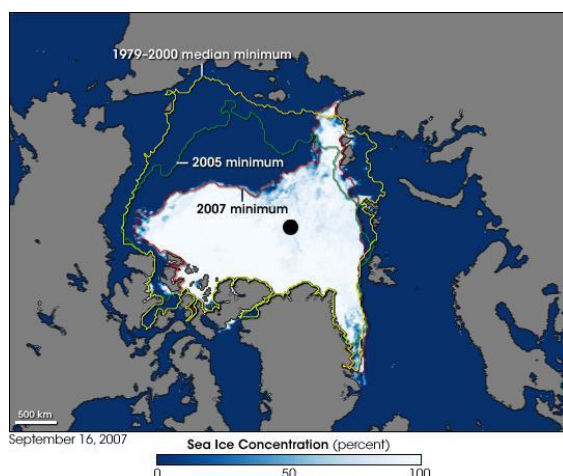
Le réchauffement s'est globalement poursuivi sans discontinuer de 1980 à 2010, sur trente ans, intervalle de temps généralement considéré par les météorologues comme suffisant à titre de tendance sur le court terme<sup>[19]</sup>. Selon le **Goddard Institute for Space Studies** (GISS) de la NASA, l'année 2015 a été l'année la plus chaude depuis le début des statistiques (1880), d'après les analyses convergentes des scientifiques de la NASA et de la **National Oceanic and Atmospheric Administration** (NOAA), avec une certitude statistique à 94 % ; elle a dépassé de 0,13 °C le précédent record établi en 2014 ; 15 des 16 années les plus chaudes enregistrées sont postérieures à 2000, l'exception étant 1998. Depuis 1880, la température moyenne à la surface de la Terre s'est réchauffée de 1,0 °C. Le phénomène **El Niño** a contribué à ce réchauffement sur la majeure partie de l'année 2015<sup>[20]</sup>.

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 XX<sup>e</sup> 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<sup>[a 1]</sup>.

## 1.2 Précipitations

Selon le quatrième rapport du GIEC, la répartition des précipitations s'est modifiée au cours du XX<sup>e</sup> 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<sup>[a 1]</sup>. 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 ampleur<sup>[21]</sup>. 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<sup>[17]</sup>.

## 1.3 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 à la fin de l'été a connu une décroissance très rapide, passant de 8,5 millions de km<sup>2</sup> pendant la période 1950-1975 à 5,5 millions de km<sup>2</sup> en 2010<sup>[22]</sup>. Le satellite spécialisé CryoSat-2 fut mis en orbite en avril 2010<sup>[23]</sup> après l'échec du premier satellite CryoSat en 2005. Il doit fournir des informations plus précises sur les quantités de glace polaire<sup>[24]</sup>.

### 1.3.1 En Arctique

Des observations par satellite montrent que ces banquises perdent de la superficie dans l'océan Arctique<sup>[25]</sup>. Par ailleurs, un amincissement de ces banquises, en particulier autour du pôle nord, a été observé<sup>[26]</sup>. L'âge moyen des glaces, sur la période 1988-2005, est passé de plus de six ans à moins de trois ans<sup>[27]</sup>. La réduction



*Un ours polaire bondissant entre deux blocs de glace de la banquise fondante, sur l'île de Spitzberg, dans l'archipel norvégien de Svalbard.*

tion 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 %)<sup>[17]</sup>.

Le réchauffement dans cette région est de l'ordre de 2,5 °C<sup>[28]</sup> (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<sup>[29]</sup>.

2007 marque un minimum de la banquise en été<sup>[30]</sup>. 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<sup>[31]</sup>.

Les observations menées pendant l'expédition Tara, une initiative privée sous l'égide du programme européen Damoclès (Developping Arctic Modelling and Observing Capabilities for Long-term Environmental Studies)<sup>[32]</sup> de septembre 2006 à décembre 2007, indiquent que les modifications entamées dans l'océan Arctique sont profondes et irréversibles<sup>[33]</sup>. 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 mers<sup>[34]</sup>. Une étude datant de 2010 montre une anticorrélation et un basculement bipolaire entre les températures des pôles durant le XX<sup>e</sup> siècle : quand un pôle se réchauffe, l'autre se refroidit, et les phases de réchauffement/refroidissement se succèdent par cycles de quelques dizaines d'années<sup>[35]</sup>. 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<sup>[pas clair]</sup>) par la phase de réchauffement due à la variabilité climatique multidécennale (due aux fluctuations de la circulation de l'océan Atlantique) ».

La disparition de la banquise en été diminue l'albédo de l'Arctique, renforçant le réchauffement de l'Océan Arctique pendant cette saison. Une partie de la chaleur accu-



mulée est transmise à l'atmosphère pendant l'hiver, modifiant la circulation des vents polaires. Ces changements entraîneraient des incursions d'air arctique aux latitudes moyennes expliquant les épisodes hivernaux rudes ayant touché les États-Unis ou l'Europe pendant les hivers 2010 à 2012. Cependant, les statistiques sur ces phénomènes récents sont encore trop peu nombreuses pour tirer une conclusion définitive<sup>[36]</sup>.

Dans le *Guardian*, du 17 septembre 2012, Peter Wadhams, directeur du département de physique de l'océan polaire à l'université de Cambridge, en Angleterre, affirmait que la banquise arctique pourrait avoir tout simplement disparu en été d'ici 2016<sup>[37]</sup>.

### 1.3.2 En Antarctique

En Antarctique, les photos satellitaires civiles disponibles (depuis 1979) ne montraient pas de diminution totale de surface, contrairement à la banquise Arctique<sup>[38]</sup>. Cependant (notamment grâce à des véhicules et robots sous-marins<sup>[39]</sup>), on observe de vastes zones d'amincissement et un certain nombre de phénomènes exceptionnels. Ainsi, 3 500 km<sup>2</sup> 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. En 2016, deux études montrent que l'Antarctique perd en réalité de la glace depuis plus longtemps qu'on ne le pensait, grâce notamment à des images satellitaires récemment déclassifiées (faites par des satellite-espions nord-américains)<sup>[40]</sup>.

Cette banquise était considérée comme stable depuis 10 000 ans<sup>[41]</sup>. Au mois d'avril 2009, la plaque Wilkins, dont la superficie était naguère de 16 000 km<sup>2</sup>, s'est également détachée<sup>[42]</sup>. D'une manière générale, la superficie de la banquise entourant le continent antarctique augmente de manière régulière depuis trente ans<sup>[43],[44]</sup>. Les scientifiques se sont interrogés sur les raisons de l'apparente extension de ces glaces antarctiques. Parmi les explications proposées, selon une étude néerlandaise, la fonte des glaces qui recouvrent le continent pourrait être à l'origine de cette extension<sup>[45]</sup>. En effet, l'eau de fonte provoque-rait un refroidissement de la mer en surface, ce qui favoriserait la formation de glace de mer.

En 2013, le GIEC estimait prudemment que la fonte de l'Antarctique (70 % des réserves d'eau douce disponible planétaire) serait modérée (contrairement à celle de l'arctique) et ne contribuerait que pour quelques centimètres à l'élévation du niveau de la mer en 2100<sup>[46]</sup>.

En 2014, une étude de la NASA et de l'Université de Californie à Irvine publiée en mai 2014 dans les revues *Science* et *Geophysical Research Letters* conclut qu'une partie de l'Inlandsis Ouest-Antarctique, fondant rapidement, semble être dans un état de déclin irréversible, rien ne pouvant stopper les glaciers ; quarante ans d'observation du comportement des six plus grands glaciers de cette région de la mer d'Amundsen dans

l'Antarctique occidentale (Pine Island, Thwaites, Haynes, Smith, Pope et Kohler) indiquent que ces glaciers « ont passé le point de non-retour » ; ils contribuent déjà de façon significative à l'élévation du niveau de la mer, relâchant annuellement presque autant de glace dans l'océan que l'Inlandsis du Groenland entier ; ils contiennent assez de glace pour élever le niveau général des océans de 4 pieds (1,2 mètres) et fondent plus vite qu'attendu par la plupart des scientifiques ; pour l'auteur principal (Eric Rignot), ces découvertes impliquent une révision à la hausse des prévisions actuelles d'élévation du niveau de la mer<sup>[47]</sup>.

La paléoclimatologie cherche à mieux comprendre ce qui s'est passé lors des déglaciations précédentes, notamment après le dernier maximum glaciaire (survenu il y a - 26 000 à - 19 000 ans<sup>[48]</sup>). On sait que le pôle nord a irrégulièrement perdu ou gagné d'importantes quantités de glace, mais jusque vers 2010 peu d'information était disponible pour le pôle sud. Ce que l'on connaissait de la réaction de la calotte antarctique face au dernier réchauffement postglaciaire était essentiellement basé sur des chrono-séquences issues d'analyses isotopiques. Ces analyses provenaient d'une part de quelques carottes de glace et d'autre part de carottages de sédiments marins<sup>[49]</sup>, temporellement assez peu précises et géographiquement limitées à quelques zones terrestres, ou bien marines et peu profondes<sup>[50],[51]</sup>.

Depuis peu l'étude de dépôts marins de couches de débris massivement transportés par les icebergs (dits « BIRD » pour iceberg-rafted debris) a permis de reconstituer la dynamique de fonte de l'Antarctique dans les millénaires précédents et de la comparer avec des données similaires déjà disponibles et utilisées pour l'Atlantique Nord<sup>[52]</sup>. En 2014, huit événements étaient documentés de flux accru d'export d'icebergs à partir de diverses parties de la calotte antarctique entre 20 000 ans avant nos jours et 9 000 ans. Ceci corrige les scénarios précédents selon lesquels le principal retrait glaciaire aurait été lancé par une fonte des glaces<sup>[50],[53],[54],[55]</sup> continue jusqu'à la fin de l'Holocène.

Le flux de grands icebergs largués par la banquise antarctique a été maximal il y a environ 14 600 ans, c'est la première preuve directe d'une contribution de l'Antarctique à une brutale montée du niveau océanique. Selon Weber & al (2014), les modèles de simulations climatiques intégrant ce type de forçage font envisager des rétroactions positives, et suggèrent que de petites perturbations de la calotte glaciaire pourraient contribuer à un mécanisme possible d'élévation rapide du niveau de la mer<sup>[56]</sup>.

De 2015 à 2016, plusieurs nouvelles études confirment qu'une région considérée comme stable depuis au moins 10 000 ans fond<sup>[57]</sup>, qu'une stabilité apparente des étiages gelées a caché des pertes d'épaisseur de glace<sup>[58]</sup> ; travaux qui éclairent le sujet d'une manière nouvelle et invitent à conclure qu'en intégrant mieux l'atmosphère et les courants océaniques dans les modèles, la stabilité de la

calotte antarctique serait moindre qu'on ne le pensait<sup>[59]</sup>.

Dans Nature en octobre 2015 Nick Golledge, modélisateur spécialiste des inlandsis<sup>[60]</sup> et ses collègues suggèrent qu'un réchauffement de plus de 1,5 à 2°C en 2100 pour-rait via la fonte de glace antarctique faire monter la mer de 39 cm de plus avant 2100, et 3 mètres en 2300... avec des effets qui se mesureront en siècles ou millénaires<sup>[61]</sup>.

Une autre étude (dans Nature, en décembre 2015) suggérait un apport équivalent à + 30 cm en 2100 pour le niveau marin moyen, en raison de la fonte de la banquise, mais les auteurs reconnaissaient n'avoir pas pris en compte les phénomènes complexes de fusion de surface et d'effondrement des falaises de glace qui - estiment-ils - pourraient aggraver la perte de glace.

Enfin mars 2016, Pollard & DeConto<sup>[62]</sup> cherchent à prendre en compte ces phénomènes. Ils concluent qu'à cause d'eux, si le seuil des 2°C est dépassé, alors la situation sera bien plus grave que précédemment estimée par le GIEC<sup>[46]</sup> avec une fonte inéluctable de la calotte Antarctique, qui élèvera la mer de plus d'un mètre d'ici 2100 et de plus de 15 mètres en 2500<sup>[62]</sup> ; ce qui « recartographiera » littéralement les pays et les terres émergées<sup>[59]</sup>. Leur nouveau modèle climatique intègre la perte de glace induite par le réchauffement des courants océaniques (qui peuvent ronger la glace par-dessous pendant que l'atmosphère l'affine par-dessus)<sup>[62]</sup>. Il tient mieux compte du fait que les lacs et étangs d'eau de fonte de surface tendent à s'infiltrer dans la couche de glace (en la réchauffant) et en y creusant des canaux, en élargissant des failles, ce qui peut entretenir une réaction en chaîne aboutissant au délitement de morceaux du plateaux de glace et à des effondrements accélérés de falaises de glace. Ce modèle se montre rétrospectivement capable de mieux expliquer qu'on ne l'a fait jusqu'ici plusieurs périodes géologiques clés qui ont longtemps intrigué les scientifiques. Ainsi, avant le début de la dernière glaciation il y a environ 130 000 - 115 000 ans, la mer était plus haute de 6-9 mètres qu'aujourd'hui avec pourtant un taux de CO<sub>2</sub> en-viron 30% plus bas. Et il y a 3 millions d'années, avec un taux de CO<sub>2</sub> comparable au notre, l'océan a été 10 à 30 mètres plus haut<sup>[59]</sup>. Ce modèle a été testé et calé sur la base des données décrivant le passé afin de le rendre plus prédictif de l'élévation future du niveau marin<sup>[59]</sup>. Nick Golledge estime que l'évaluation nouvelle (de 2016) est crédible même si la méthode de calcul est selon lui encore un peu spéculative étant donné la complexité des phénomènes en jeu.

## 1.4 Calottes polaires

Le bilan de masse 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<sup>[22]</sup>.

En juillet 2015, une équipe internationale de 17 climatologues, venant des États-Unis, de France, d'Allemagne et de Chine, dirigés par James Hansen, a publié une étude qui conclut au caractère hautement dangereux (« *highly dangerous* ») du changement climatique même limité à 2°C. Cette étude reste encore sous la forme d'un *discussion paper*, un article soumis à la discussion des spécialistes, dans *Atmospheric, Chemistry and Physics*, une revue en accès libre de l'Union européenne des géosciences. Cette équipe souligne que le coût économique et social de la perte de fonctionnalités des cités côtières est incalculable en pratique.

Or le dernier rapport du groupe 1 du GIEC, publié en septembre 2013, ne le mentionne pas, en fixant à 0,8 mètre au maximum l'élévation du niveau marin d'ici la fin du siècle. Mais ce chiffre ne tient pas compte d'une possible déstabilisation des calottes, les experts ayant considéré que ce sujet n'était pas assez mûr. L'étude scientifique s'appuie sur des observations du climat d'il y a 130 000 ans, lors de l'interglaciaire qui a précédé le nôtre, baptisé Eémien, période d'environ 15 000 ans qui affiche des températures moyennes d'environ 2 °C de plus que celles d'avant la révolution industrielle.

Certes la cause de ce réchauffement se situait dans une configuration orbitale dont les effets étaient amplifiés par les rétroactions climatiques de la planète, et non dans un effet de serre renforcé par les émissions dues à l'énergie fossile comme aujourd'hui, mais la fin de cet interglaciaire, alors que la cause initiale du réchauffement - la mécanique céleste réchauffant plus l'hémisphère Nord durant l'été boréal - n'opérait plus, semble paradoxale : c'est à ce moment que le niveau marin s'élève d'environ 6 mètres au-dessus du niveau actuel d'après l'analyse de coraux australiens ; la seule explication possible est une perte de glace massive et rapide des deux calottes polaires, probablement liée à une modification brutale des circulations océaniques.

Les chercheurs ont donc exploré des scénarios d'effondrement des calottes : lorsqu'ils supposent la fonte accélérée du Groenland, l'Atlantique nord et l'Europe sont plus froids qu'aujourd'hui vers 2100. Si les deux calottes sont déstabilisées simultanément, une Terre de contrastes extrêmes apparaît, avec des latitudes élevées et moyennes plus froides qu'aujourd'hui, tandis que les régions tropicales seraient plus chaudes, configuration dramatique, en particulier pour l'agriculture. Les chercheurs reconnaissent ne pas avoir de preuves, mais insistent sur la nécessité d'étudier un tel scénario<sup>[63]</sup>.

## 1.5 Dégel du pergélisol

Article détaillé : Relargage du méthane de l'Arctique.

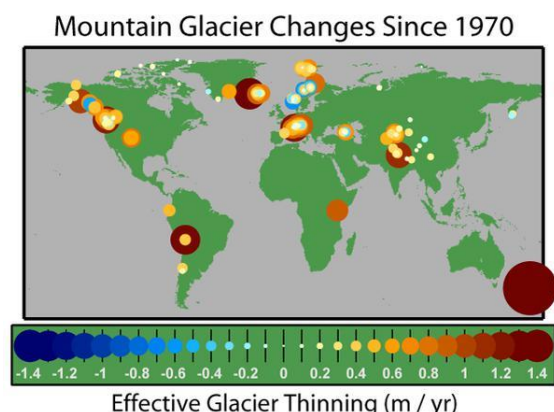
On observe un réchauffement et un dégel partiel du pergélisol arctique. Entre un tiers et la moitié du pergélisol de l'Alaska n'est plus qu'à un degré de la température

de dégel. En Sibérie, des lacs issus du dégel 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<sup>[64]</sup>.

## 1.6 Recul des glaciers de montagne

Article détaillé : [Recul des glaciers depuis 1850](#).

À quelques exceptions près<sup>[N 1]</sup>, la plupart des glaciers

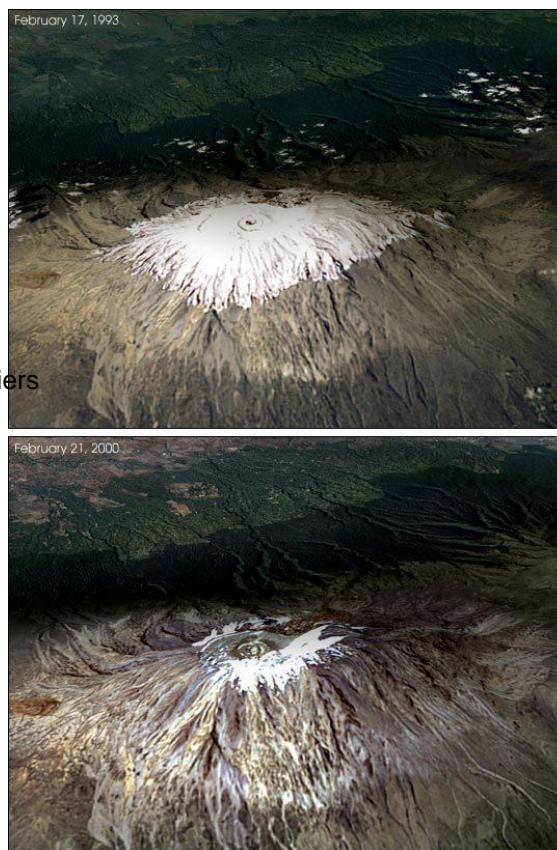


Une carte du changement dans l'épaisseur de glaciers de montagne depuis 1970. Diminution en orange et rouge, épaissement en bleu.

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 vingt dernières années<sup>[22]</sup>.

De nombreux travaux<sup>[N 2]</sup> documentent ce recul et cherchent à l'expliquer. 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<sup>e</sup> siècle<sup>[b 1]</sup>, après la fin du petit âge glaciaire. L'avancée ou le recul des glaciers sont récurrents et liés à de nombreux facteurs, parmi les-quels 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<sup>[66]</sup>, 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<sup>e</sup> siècle par le GIEC dans son rapport de 2001<sup>[67],[68]</sup>.

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 né-



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<sup>e</sup> siècle et celui-ci pourrait avoir disparu en 2020 selon un article paru dans la revue Science en 2002<sup>[65]</sup>.

cessaire dans l'analyse des données. Pour certains climatologues, ce recul est dû à une diminution des chutes de neige depuis le XIX<sup>e</sup> siècle<sup>[69]</sup>. 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 4 000 ans<sup>[70]</sup>.

En ce qui concerne les glaciers himalayens, il faut souligner le nombre limité de données. Une étude de 2006 observe qu'une augmentation du ruissellement saisonnier des glaciers de l'Himalaya a entraîné une augmentation de la production agricole en Inde du nord au cours du XX<sup>e</sup> siècle<sup>[71]</sup>. Des données fiables n'existaient en 2007 que pour 50 glaciers indiens, sur plus de 9 500<sup>[72]</sup>. Selon un rapport de 2009 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 fleuve Jaune — sont en recul. Cependant ce rapport reste prudent dans ces conclusions<sup>[73]</sup> :

« Il est prématuré d'affirmer que les glaciers himalayens reculent anormalement à cause du réchauffement climatique. Un glacier est in-



fluencé par tout un ensemble de facteurs physiques et par une interconnexion complexe des facteurs climatiques. »

Dans les Andes, le glacier du Chacaltaya, qui abritait la plus haute station de ski, a totalement disparu en 2009. D'une façon générale, les glaciers andins tropicaux ont diminué de 30 à 50% en 30 ans<sup>[74]</sup>. Du fait de cette diminution, l'alimentation en eau de La Paz, capitale de la Bolivie pourrait devenir problématique<sup>[75]</sup>.

## 1.7 Effets géophysiques et sismiques

La fonte rapide d'une partie de la cryosphère (glaciers de haute-montagne, mais surtout calottes glaciaires) a des effets géophysiques ; la fonte de toute masse importante de glace s'accompagne de déplacements de la gravité<sup>[76]</sup> et par suite d'une déformation de la Terre considérée comme viscoélastique<sup>[77]</sup> (mesurable par les mesures GPS, inclinométriques (aussi utilisée pour mesurer des déformations du sol induites par l'eau de barrages ou d'aquifères<sup>[78]</sup>) et gravimétriques près des zones affectées<sup>[79]</sup>,<sup>[76]</sup>. L'ampleur de ces effets est plus marquée dans les régions polaires et sub-polaires<sup>[80]</sup>.

Dans la suite du rebond post-glaciaire, qu'elle pourrait exacerber, cette fonte induit une nouvelle répartition des masses d'eau (volumes de glaces peu mobiles transformés en masse d'eau liquide et très mobile contribuant à une rapide redistribution spatio-temporelle de masse) que l'on commence à pouvoir mieux mesurer<sup>[81]</sup> et qui pourrait modifier la forme du géoïde<sup>[82]</sup>,<sup>[83]</sup>.

D'après les données<sup>[84]</sup> collectées par le satellite européen Goce (*Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer*)<sup>[85]</sup>, de 2009 à 2012 et par son prédécesseur Grace<sup>[86]</sup>,<sup>[87]</sup>,<sup>[88]</sup> (moins précis), la fonte d'une partie des glaces de l'Antarctique occidental a significativement modifié le champ de gravité<sup>[89]</sup> d'une région où depuis 2009, la perte annuelle de glace a été multipliée par trois (de 2011 et 2014, le volume global de la calotte glaciaire australe a diminué en moyenne de quelque 125 kilomètres cubes par an), ce que confirme le radar altimétrique (radioaltimètre) du satellite CryoSat.

Par des jeux de rééquilibres ou « ajustements isostatiques glaciaires » (ou GIA pour « glacial-isostatic adjustment »)<sup>[87]</sup>,<sup>[90]</sup>,<sup>[91]</sup>, certaines failles et systèmes volcaniques pourraient être réactivés (des corrélations entre fonte massive de calottes et événements sismiques ont été évoquées puis confirmées en 2009 pour des périodes géologiques récentes ; entre 12 000 et 7 000 ans où le volcanisme semble avoir été six fois plus intense, et en Islande plus de trente fois ce qu'il est de nos jours). En plus de l'allègement des pôles, il faut aussi tenir compte du poids supplémentaire de l'océan mondial lié à la montée des océans<sup>[92]</sup>.

Enfin, le dégel déstabilisateur du pergélisol (dit aussi « permafrost »)<sup>[93]</sup>,<sup>[94]</sup>,<sup>[95]</sup> de montagne et de l'eau qui

cimente certains massifs rocheux d'altitude (Alpes par exemple<sup>[96]</sup>,<sup>[97]</sup>,<sup>[98]</sup>) se traduisent par des déplacements de masses et des effondrements de blocs de montagnes<sup>[99]</sup> (150 écroulements recensés en 2015 dans le massif du Mont-Blanc ; essentiellement « entre 3 100 et 3 500 mètres d'altitude »), sources de matériaux supplémentaires qui seront charriés par les torrents. Les écroulements surviennent en hiver après que la chaleur de l'été ait pénétré l'intérieur des montagnes et quand le froid revient selon Ludovic Ravanel<sup>[100]</sup>.

## 1.8 Effets sur les pratiques agricoles

Le climat, et en particulier les températures, ont un effet sur la date des récoltes agricoles. Une anticipation des dates clefs du développement végétal (bourgeoisement, floraison, récolte) a été observée pour l'ensemble des cultures, sous les climats tempérés et méditerranéens. Ainsi, pour le blé, la sortie des épis a lieu 8 à 10 jours plus tôt qu'il y a vingt ans<sup>[101]</sup>. Dans de nombreux cas, les dates de vendanges sont régulièrement avancées, comme en Bourgogne<sup>[102]</sup>,<sup>[103]</sup>,<sup>[104]</sup>. De plus ces phénomènes peuvent être décrits sur plusieurs décennies car ces dates de vendanges ont été consignées dans le passé et archivées. De tels documents sont utilisés pour déterminer les températures à des périodes où les thermomètres n'existaient pas ou manquaient de précision. Un réchauffement climatique depuis le XX<sup>e</sup> siècle est clairement établi par l'étude de ces archives (ainsi, la date de début des vendanges à Châteauneuf-du-Pape a avancé de trois semaines en cinquante ans<sup>[101]</sup>).

## 1.9 Effets sur la faune, la flore, la fonge et la biodiversité

Article connexe : Évolution en réponse aux changements climatiques.

### 1.9.1 Changements d'aires de répartition

En mer, de nombreuses espèces de poissons remontent vers les pôles<sup>[105]</sup>,<sup>[106]</sup>. Sur Terre, on observe aussi une modification de l'aire de répartition de différentes espèces animales et végétales<sup>[105]</sup>. 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 à la suite d'une fonte accrue des glaciers). 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<sup>[107]</sup>. Un suivi<sup>[108]</sup> fait dans 13 États européens montre que les plantes de montagne « *grimpent* » en altitude, mais sont alors confrontées à une concurrence accrue. Certains forestiers pensaient que le réchauffement doperait la croissance des arbres d'Alaska mais en réalité elle diminue, sans doute à cause du stress des sécheresses estivales<sup>[109]</sup>.

Le dérèglement climatique est souvent proposé comme expliquant des modifications écologiques globales. Paradoxalement, localement, à la suite des courants froids résultant de la fonte accélérée de la calotte glaciaire, des refroidissements hivernaux peuvent aussi 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)<sup>[110]</sup>. Elles sont alors plus vulnérables aux collisions avec les bateaux, à leurs prédateurs et aux échouages (sur les 860 premières tortues récupérées par des bénévoles, 750 ont survécu et ont pu être ensuite libérées)<sup>[110]</sup>. En janvier 2010, plus de 4 600 tortues s'étaient échouées en Floride<sup>[110]</sup>.

Ceci vaut aussi pour la faune terrestre. Par exemple, l'aire de répartition de la chenille *processionnaire du pin* est en phase d'expansion et a atteint Orléans en 1992 et Fontainebleau en 2005. La colonisation de l'espèce pourrait atteindre Paris en 2025. Selon l'INRA, cette expansion est emblématique de la propagation des bio-agresseurs des espèces forestières grâce au réchauffement climatique<sup>[111]</sup>.

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)<sup>[112]</sup> montre par exemple qu'en vingt ans, les communautés d'oiseaux en France se sont globalement déplacées de 100 km vers le nord<sup>[113]</sup>.

### 1.9.2 Changements physiologiques des organismes

Chez de nombreuses espèces, l'insularisation écologique (qui augmente lors des glaciations (phénomène des *refuges glaciaires*) mais qui augmente aussi en cas de réchauffement sur les littoraux, à cause de la *montée des océans*<sup>[114]</sup>, des modifications des *précipitations* ou de la *saisonnalité*<sup>[115]</sup>, mais aussi le réchauffement de l'aire de répartition d'une espèce animale peuvent conduire à une diminution de la taille de l'organisme<sup>[116]</sup> (« nanisme adaptatif »)<sup>[117]</sup>.

Selon les paléontologues Philip Gingerich et ses collègues, si la tendance au réchauffement devait se poursuivre sur le long terme, une diminution de taille, voire un véritable nanisme de certains animaux sauvages (mammifères tels que *primates*, *chevaux* et *cervidés* notamment) pourraient réapparaître en adaptation aux climats chauds. Un tel phénomène a déjà eu lieu lors du

Maximum thermique du passage Paléocène-Eocène (ou PETM<sup>[118]</sup>) survenu il y a environ 56 millions d'années et ayant duré environ 160 000 ans avec une hausse des températures mondiales atteignant 9 à 14 degrés Fahrenheit à son apogée. De même lors d'un autre réchauffement global de moindre ampleur (+ 5 °F au max.) et moins long (80 000 à 100 000 ans) qui est l'ETM2 (*Eocene Thermal Maximum 2*), survenu environ 2 millions d'années après le PETM (soit il y a 53 millions d'années). Lors de ces deux réchauffements globaux, la taille des ancêtres de nos chevaux (*Hyracotherium* qui avaient la taille d'un chien), avait respectivement diminué de 30 % et 19 % lors du PETM puis de l'ETM2<sup>[119]</sup>.

Ce phénomène concerne aussi la faune du sol<sup>[120]</sup> et ceux vivant dans l'eau<sup>[121]</sup> où l'augmentation de la température entraîne une chute du taux d'oxygène, une augmentation du CO<sub>2</sub> et une *acidification* (qui modifie la biodisponibilité du fer pour le phytoplancton marin<sup>[122]</sup>, et augmente partout celle de nombreux métaux toxiques). La sécheresse ou l'augmentation du métabolisme des *ectothermes* semble défavoriser les grands individus par rapport aux petits, et une majorité des organismes évolués semble s'adapter avec une croissance moindre, par un effet de rétrécissement en cascade (des *producteurs primaires* aux *consommateurs*) à la suite de la baisse des ressources alimentaires de la chaîne alimentaire.

Par ailleurs, le réchauffement climatique affecte la survie des espèces d'une grande variété de façon. Les *ours polaires*, par exemple, sont menacés en raison de la plus grande présence de trous dans la *banquise*, permettant aux *phoques* de respirer hors d'atteinte de ce prédateur<sup>[123]</sup>. Le polyphénisme de couleur affectant un grand nombre d'espèces arctiques, tel que le *renard polaire* qui devient blanc en hiver, est très souvent dépendant de la *durée du jour*, induisant ainsi des hiatus de plus en plus fréquents (un pelage blanc alors qu'il n'y a pas encore de neige)<sup>[124]</sup>.

### 1.9.3 Extinctions d'espèces, disparition d'habitats

Selon les scénarii et méthodologies retenues, les études publiées entre les années 1990 et 2015 concluaient à des résultats variés : certaines concluant à des changements minimes et d'autres à la disparition de jusqu'à 54% des espèces en raison du changement climatique<sup>[125]</sup>.

En 2015, une *méta-analyse* a porté sur 131 études, ayant toutes porté sur le risque de disparition de plus d'une espèce en raison des modifications du climat. Cette méta-analyse a conclu à la probabilité que « jusqu'à un sixième des espèces sur la Terre pourraient disparaître si le changement climatique reste sur sa trajectoire actuelle » (des années 2010-2015). Mais localement, dans les territoires en situation plus critique, les taux d'extinction pourront être plus élevés<sup>[125]</sup>.

Les facteurs d'extinction sont par exemple une lenteur naturelle de dispersion, ou l'existence d'obstacles aux migrations vers des zones plus clémentes. Ces obstacles



sont par exemple les chaînes de montagnes, la déforestation, l'agriculture intensive ou le développement urbain. Dans d'autres cas, l'habitat disparaîtra entièrement, ou l'aire vitale deviendra trop petite pour assurer la survie de l'espèce<sup>[125]</sup>. Pour formuler ce scénario prospectif en évitant les biais liés à des extrapolations faites à partir d'études portant sur peu d'espèces ou un territoire peu étendu, les auteurs ont choisi de surpondérer la valeur des travaux concernant un grand nombre d'espèces. Les auteurs considèrent qu'en 2015, environ 2,8% des espèces sur la Terre sont déjà en danger d'extinction pour des raisons climatiques. Le réchauffement (probable) de 2 °C en 2100 devrait conduire 5,2 autres pourcents des espèces à la disparition probable<sup>[125]</sup>. Et si le réchauffement moyen devait atteindre 4,3 °C au-dessus des niveaux préindustriels (scénario jugé crédible par certaines études) une espèce sur six pourrait disparaître. En raison de la complexité des phénomènes écosystémiques, ces chiffres doivent cependant être pris avec circonspection. Sax reconnaît que « Nous ne sommes que juste au début de l'évaluation de ces risques »<sup>[125]</sup>.

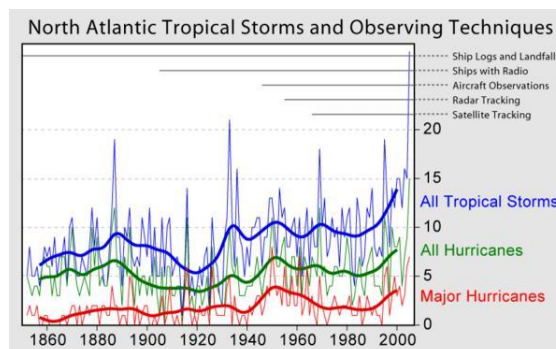
#### 1.9.4 Effets écoépidémiologiques

Cette section est vide, insuffisamment détaillée ou incomplète. *Votre aide* est la bienvenue !

#### 1.9.5 Enjeux prospectifs et de gestion du patri-moine naturel

Outre les risques d'extinction d'espèces, les éléments décrits ci-dessus peuvent avoir une grande importance pour les stratégies d'adaptation au changement climatique de protection et restauration de la biodiversité et des trames vertes et bleues nécessaires à leurs déplacements (dont des 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<sup>[107]</sup> qui vont souvent s'étendre sur des zones urbanisées et agricoles. Des pays comme l'Australie ont créé des corridors climatiques pour faciliter les migrations « climatiques » de faune. Les études prospectives pourraient aussi aider les scientifiques et les décideurs à mieux choisir les aires protégées et à faire évoluer leurs périmètres selon les contraintes climatiques (« Une zone mise en réserve naturelle pour préserver les espèces dans un écosystème contemporain peut devenir écologiquement inadaptée quelques décennies. ») Ceci vaut pour le milieu marin : la NOAA et d'autres appellent à la création de sanctuaires marins et de réseaux d'autres habitats protégés pour créer des corridors climatiques de migration pour aider la vie marine à s'adapter au changement climatique<sup>[125]</sup>.

## 1.10 Cyclones tropicaux



*Évolution des tempêtes tropicales (en bleu), des ouragans (en vert) et des ouragans majeurs (catégorie 3) (en rouge), dans l'Atlantique Nord.*

Article détaillé : [Cyclone tropical](#).

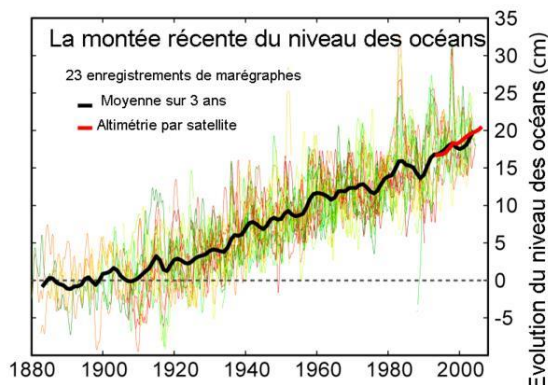
Le consensus scientifique dans le rapport de 2007 du GIEC est que l'intensité des cyclones tropicaux devrait probablement augmenter (avec une probabilité supérieure à 66 %).

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<sup>[126],[127],[128]</sup>. Le nombre de cyclone d'intensité 4 et 5 a presque doublé en nombre et en proportion entre 1970 et 2004<sup>[129]</sup>. 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<sup>[130],[131]</sup>.

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 années<sup>[132]</sup>. 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<sup>[d 1]</sup>. Toutefois, une simulation américaine récente<sup>[133]</sup> montre que le nombre et l'intensité des cyclones devraient croître à l'avenir dans les zones tropicales sur tous les océans du globe sauf dans le sud-ouest du Pacifique.

### 1.11 Réchauffement des océans et élévation du niveau de la mer



Élévation du niveau de la mer<sup>[134]</sup>.

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<sup>[135]</sup>.

On estime que les océans ont absorbé à ce jour 80 à 90 % de la chaleur ajoutée au système climatique<sup>[17],[135]</sup>. 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 océans<sup>[135]</sup>. Les données proviennent des marégraphes mis en place depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, secondés à partir des années 1990 par des satellites altimétriques<sup>[136]</sup>. Leur analyse suggère que le niveau de la mer s'est élevé au cours du XX<sup>e</sup> siècle de quelques dizaines de centi-mètres, 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<sup>[a 2],[137]</sup> et de 3,4 mm par an depuis 1993<sup>[135], [22]</sup>. 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-Brunswick<sup>[138]</sup>.

Article détaillé : [Élévation du niveau de la mer](#).

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 surface<sup>[139]</sup>.

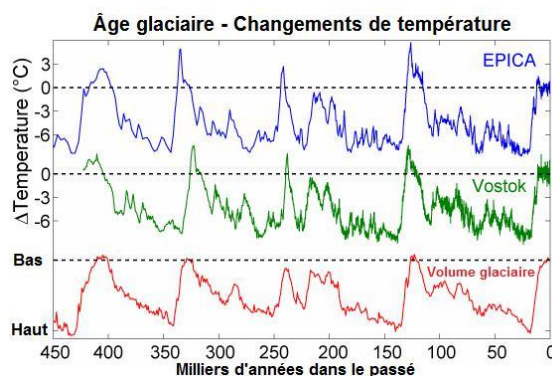
La courbe de la quantité de chaleur estimée dans les océans est mise à jour régulièrement par l'organisme américain de météorologie NOAA<sup>[140]</sup>. L'élévation de température est également détectable dans

les fleuves et les lacs. Ainsi, entre 1977 et 2006, la température moyenne annuelle du Rhône a augmenté de 1,5 °C, et les températures moyennes estivales de la Loire de 1,5 °C à 2 °C. Les eaux profondes du lac Léman se sont réchauffées de 1 °C en quarante ans<sup>[141]</sup>.

### 1.12 Acidification des océans

Le taux d'acidité des océans a augmenté de 26 % en raison de la forte hausse des émissions de dioxyde de carbone, dont les eaux absorbent près du tiers des quantités relâchées dans l'atmosphère ; cette acidité contribue à la chute de la biodiversité<sup>[142]</sup>.

## 2 Perspectives : évolution pas-sée des températures et conséquences



Depuis 400 000 ans, la Terre a connu quatre cycles de glaciation.

### 2.1 Cycles climatiques

Article détaillé : [Changement climatique](#).

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<sup>[réf. nécessaire]</sup>.

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'années<sup>[22]</sup>.

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.

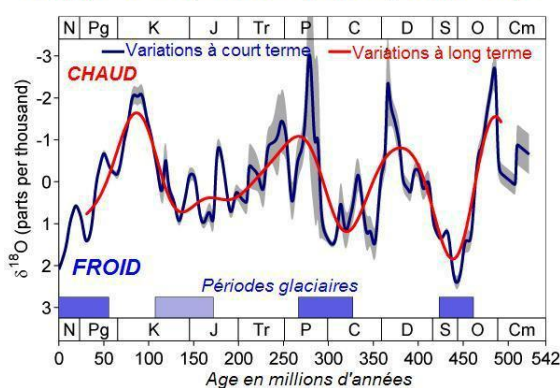
Grâce à l'étude des **carottages de glace** et plus précisément de l'analyse de la composition isotopique de l'**oxygène** piégé dans la glace, les températures atmosphériques des cycles glaciaires de l'**ère quaternaire** ont pu être reconstituées<sup>[143]</sup>. La carotte glaciaire la plus profonde a été forée dans le cadre du projet Epica, en **Antarctique**, à plus de 3 500 mètres de profondeur, ceci permettant d'étudier l'histoire du climat en Antarctique depuis 800 000 ans<sup>[144]</sup>. Les **carottes de glace** contiennent des bulles d'air et des indications sur la teneur en gaz de l'atmosphère d'autrefois. Ces carottages ont ainsi permis de montrer que la teneur en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère a augmenté de 30 % durant le dernier siècle alors qu'elle était à peu près stable auparavant.

## 2.2 Amplitudes des variations climatiques

Article connexe : **Glaciations quaternaires**.

Au cours du quaternaire, l'amplitude thermique a été de

Variations de températures durant le phanérozoïque

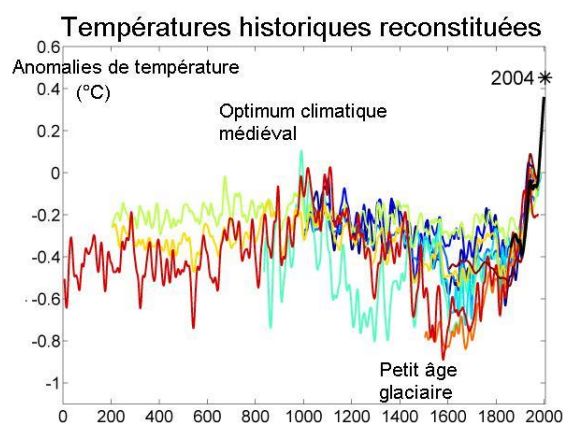


Variations du climat global depuis 540 millions d'années.

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<sup>e</sup> 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 que 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**.

Le maximum thermique entre le **paléocène** et l'**éocène**, il y a 56 millions d'années, est particulièrement intéressant car il semble dû à un dégagement de gaz à effet de serre, mais étalé sur plusieurs milliers d'années<sup>[145]</sup>. Le réchauffement total fut de 5 °C, au rythme modéré de 0,025 °C par siècle, très inférieur au rythme observé actuellement. Son impact fut important sur les espèces marines dont certaines disparurent à la suite de l'**acidification des océans**, les espèces animales ou végétales terrestres réussissant pour la plupart à s'adapter ou à migrer.

## 2.3 Temps historiques



Explication détaillée du graphique (en). Les reconstitutions sont faites à partir de la **dendrochronologie**, des mesures dans les **glaciers** entre autres.

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<sup>e</sup> siècle<sup>[réf. nécessaire][146]</sup> et le XIII<sup>e</sup> 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. Cette année-là, les céréales manquèrent dans la plus grande partie de la France, et seuls la Normandie, le Perche et les côtes de Bretagne ont pu produire assez de grain pour assurer les semences.

En juin 1709, dans la région parisienne, le prix du pain atteignit trente-cinq **sous** pour neuf **livres** au lieu de sept sous, ordinairement. De nombreux arbres gelèrent jusqu'à l'aubier, et la vigne disparut de plusieurs régions de la France, les températures les plus basses étant atteintes entre le 10 et le 21 janvier<sup>[147]</sup>.

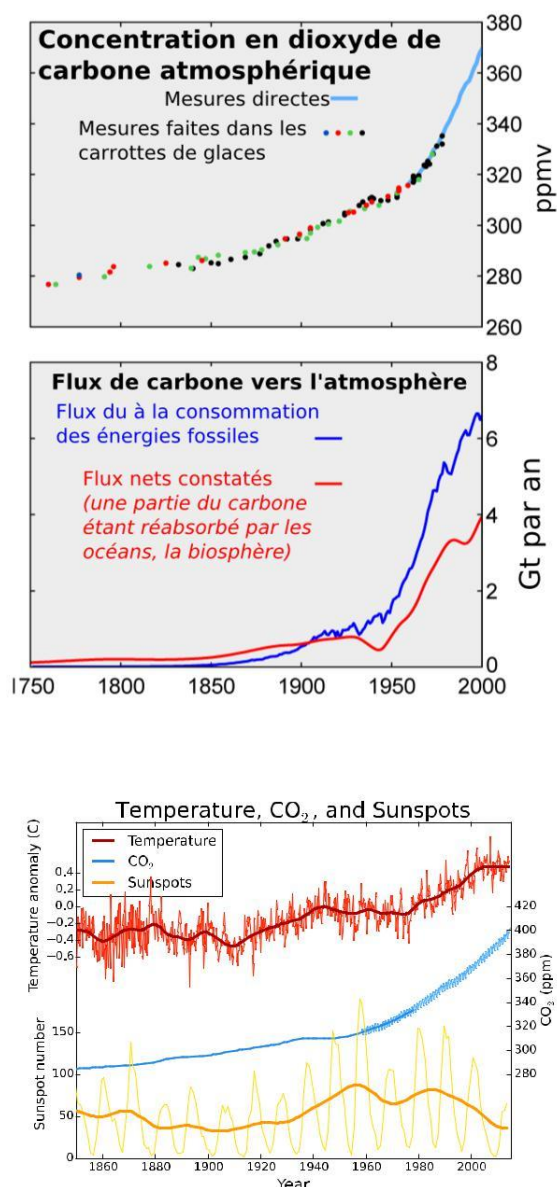
Selon les reconstitutions<sup>[148]</sup> de températures réalisées



par les climatologues, la dernière décennie du XX<sup>e</sup> siècle et le début du XXI<sup>e</sup> 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.

### 3 Causes

#### 3.1 Hypothèse d'un effet de serre addition-nel



Variation des températures, activité solaire et concentration du CO<sub>2</sub>.

Articles détaillés : effet de serre et bilan radiatif de la Terre.

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<sup>[149]</sup>. Sans cet effet, la température de surface de la Terre serait en moyenne de 33 °C inférieure soit 19 °C<sup>[N 3],[150],[151],[152]</sup>

L'augmentation observée des quantités de gaz à effet de serre, comme le CO<sub>2</sub>, contribue à renforcer l'effet de serre. On estime que, depuis 1750, 2 000 gigatonnes de dioxyde de carbone ont été émises dans l'atmosphère du fait des activités humaines, et que sur ce total, 800 gigatonnes y sont restées accumulées<sup>[153]</sup>. Les concentrations actuelles de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère surpassent de loin les taux des 650 000 dernières années. Elles sont passées de 280 ppm (partie par million) vers 1750 à 379 ppm en 2005. La barrière des 400 ppm est dépassée ponctuellement et localement dès 2013<sup>[154]</sup>. Toutefois, selon le bulletin de l'OMM, la moyenne annuelle de l'année 2014 a été relevée à 397,7 ppm<sup>[154]</sup>. L'observatoire de référence de Mauna Loa à Hawaï relève durant la semaine du 1<sup>er</sup> novembre 2015 une concentration de 399,06 ppm<sup>[154]</sup>. Les concentrations de méthane sont passées de 715 ppb (partie par milliard) en 1750 à 1 774 ppb en 2013<sup>[a 3]</sup>, puis 1 833 ppb en 2014, soit 254 % de son niveau à l'ère préindustrielle<sup>[155]</sup>. Par ailleurs, la vitesse de croissance du taux de CO<sub>2</sub> 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 2007<sup>[156]</sup>. 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 fossile<sup>[17],[e 1]</sup>, l'autre partie étant due essentiellement aux déboisements massifs<sup>[22]</sup>.

Selon le quatrième rapport du GIEC<sup>[a 4]</sup>, en 2004 49 milliards de tonnes équivalent CO<sub>2</sub> 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. Arrhenius a démontré que l'augmentation de la concentration de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère risquait d'accroître très significativement la température de la planète. Il a calculé qu'un doublement de la teneur en  $\text{CO}_2$  pourrait provoquer un réchauffement de 4 à 6 °C, des valeurs en cohérence avec les modélisations du XXI<sup>e</sup> siècle. Cet élément montre l'ancienneté d'une théorie scientifique du réchauffement climatique<sup>[157]</sup>.

En 1938, l'ingénieur britannique Guy Callendar, puis en 1956 le physicien américain Gilbert Plass (en) ont établi puis théorisé la relation entre l'accroissement des rejets industriels de  $\text{CO}_2$  et les premières observations de réchauffement climatique planétaire<sup>[réf. nécessaire]</sup>. Dans ce contexte, en 1957, les Américains ont mis en place des mesures de la concentration en  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère à Hawaï. Cela a permis au climatologue américain Charles Keeling de produire en 1961 une première courbe confirmant une progression régulière de la concentration de  $\text{CO}_2$ <sup>[158],[159]</sup>. C'est seulement en 1979, lors de la première conférence mondiale sur le climat, à Genève, qu'a été avancée publiquement pour la première fois sur la scène internationale l'éventualité d'un impact de l'activité humaine sur le climat<sup>[160]</sup>. Le « réchauffement global » est décrit dès août 1975 par le géochimiste américain Wallace Smith Broecker (en) (université Columbia), qui utilise pour la première fois cette expression, avec une prévision assez juste de la progression des concentrations de  $\text{CO}_2$  dont il prévoyait un taux de 400 ppm autour de

2010<sup>[154]</sup>

L'augmentation de l'effet de serre induit par l'ensemble des gaz à effet de serre est estimée à 2,3 W/m<sup>2</sup>, se traduisant par une augmentation de température. Les variations d'énergie rayonnée par le Soleil durant ses cycles d'activité sont dix fois plus faibles. L'éventuelle influence sur la formation des nuages d'un rayonnement cosmique galactique modulé par le vent solaire est actuellement à l'étude<sup>[22]</sup>.

L'article controverses sur le réchauffement climatique détaille l'hypothèse des fluctuations de l'activité solaire

## 3.2 Cause la plus probable

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<sup>e</sup> siècle serait le « forçage anthropique », c'est-à-dire l'augmentation dans l'atmosphère des gaz à effet de serre résultant de l'activité humaine<sup>[161]</sup>. Le degré de certitude a augmenté dans les rapports 2007 puis 2013 du GIEC, qui qualifient de *très probable*, puis d'*extrêmement probable* le fait que le réchauffement climatique soit dû à l'activité humaine<sup>[c 1],[2]</sup>.

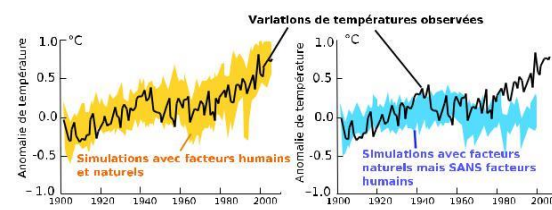
Selon les prévisions actuelles, le réchauffement planétaire se poursuivrait au cours du XXI<sup>e</sup> siècle mais son ampli-



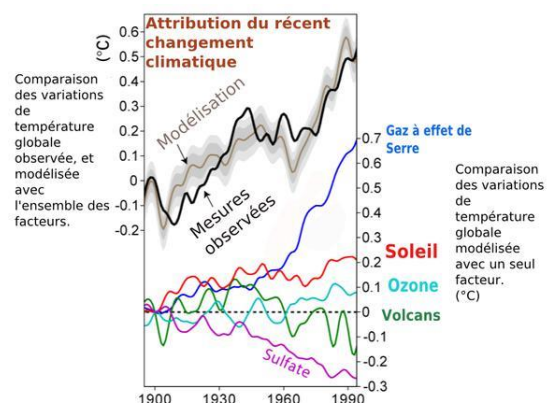
Le superordinateur Earth Simulator a contribué à étudier l'origine du réchauffement climatique.

tude est débattue : selon les hypothèses retenues et les modèles employés, les prévisions à l'horizon 2100 vont de 0,3 à 4,8 °C.

### 3.2.1 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 numériques<sup>[162],[e 2]</sup>. Ce sont des programmes informatiques qui permettent d'estimer l'importance relative des divers facteurs naturels et humains au travers de simulations menées sur des Superordinateurs, pour identifier le ou les facteurs à l'origine de la brutale hausse de température.

Ces modèles tiennent compte de deux types de mécanismes<sup>[22]</sup> :

ceux qui sont suffisamment bien compris pour pou-voir être traduits en équation. Il s'agit essentielle-ment de la circulation de l'atmosphère, des phéno-mènes de **forçage radiatif** et de l'**hydrodynamique** de la circulation océanique. La précision des prévisions basées sur ces mécanismes est limitée par la limi-tation spatiale et temporelle due à la puissance des ordinateurs et à l'efficacité des algorithmes de calcul utilisés ; ceux dont la modélisation est empirique. Tel est en particulier l'effet des nuages, la taille des mailles des modèles actuels ne permettant de 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 testées** Plusieurs hypothèses ont été tes-tées :

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 ter-restre — 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 **trainées des avions** et des **navires**, et l'éta-le-ment urbain ;
4. les émissions **volcaniques**.

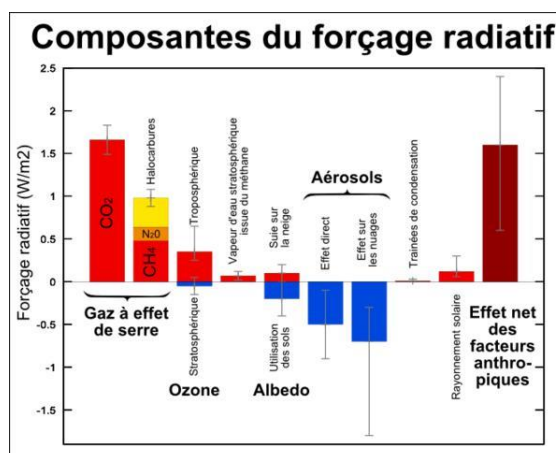
Certaines de ces causes sont d'origine humaine, comme la déforestation et la production de **dioxyde de carbone** par combustion de matière fossile. D'autres sont naturelles, comme l'activité solaire ou les émissions volcaniques.

**Résultats** Les simulations climatiques montrent que le réchauffement observé de 1910 à 1945 peut être expli-qué par les seules variations du rayonnement solaire (voir **changement climatique**)<sup>[réf. nécessaire]</sup>. 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<sup>[17]</sup>. En particulier, l'augmentation de la tempéra-ture moyenne mondiale depuis 2001 est en accord avec les prévisions faites par le GIEC depuis 1990 sur le ré-chauffement induit par les gaz à effets de serre. Enfin, un réchauffement uniquement dû à l'activité solaire n'expli-querait pas pourquoi la **troposphère** verrait sa tempéra-ture augmenter et pas celle de la **stratosphère**<sup>[17]</sup>.

### 3.2.2 Consensus scientifique

Article détaillé : **Positionnement de la communauté scien-tifique envers le réchauffement climatique.**



Un forçage radiatif positif est un renforcement de l'effet de serre et un réchauffement ; un forçage radiatif négatif entraîne un refroidissement (augmentation de l'albédo). Ceci correspond à des calculs tenant compte des concentrations dans l'atmosphère<sup>[a 5]</sup>.

Dans son rapport de 2001, le GIEC conclut que les gaz à effet de serre anthropogéniques « jouent un rôle important dans le réchauffement global »<sup>[163]</sup>.

En 2003, l'Union américaine de géophysique af-firme que « les influences naturelles ne permettent pas d'expliquer la hausse rapide des températures à la surface du globe »<sup>[164]</sup>.

Le 7 juin 2005, les académies des sciences des pays du G8<sup>[N 4]</sup> et celles des trois plus gros pays en voie de développement consommateurs de pétrole<sup>[N 5]</sup> ont signé une déclaration commune à Londres, affirmant que le doute entretenu par certains à l'endroit des changements climatiques ne justifie plus l'inaction et qu'au contraire, il faut « enclencher immédiatement » un plan d'action planétaire pour contrecarrer cette menace globale<sup>[165]</sup>.

Enfin, en 2007, le quatrième rapport du GIEC, an-nonce que la probabilité que le réchauffement cli-matique soit dû aux activités humaines est supé-rieure à 90 %<sup>[c 1]</sup>.

Le 5e rapport du GIEC (publié en 2014)<sup>[166]</sup> es-time avec une "haute confiance" qu'en l'absence de mesures additionnelles prises, "les scénarios de base conduisent à une augmentation de la tempé-rature moyenne globale en 2100 située entre 3,7°C et 4,8°C comparée aux valeurs pré-industrielles (in-tervalle basé sur une réponse moyenne du climat ; l'intervalle est de 2,5 °C à 7,8 °C si l'on inclut les incertitudes relatives à la réponse du climat).



Le rôle du méthane (CH<sub>4</sub>) (produit par les ruminants, les rizières, les fuites d'exploitation du gaz naturel et le dégel du **permafrost**) est réévalué à la hausse dans le cinquième rapport du GIEC (2014) : le méthane est estimé avoir un potentiel de réchauffement global à 100 ans égal à 28 fois celui du di-oxyde de carbone -même si la contribution cumulée demeure plus faible <sup>[166]</sup>.

De nombreux scientifiques estiment même que ce rapport n'est pas assez clair et qu'il faudrait dès maintenant un programme international pour réduire drastiquement les deux sources principales de gaz à effet de serre (ici surtout dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>) : le transport routier et les centrales à charbon <sup>[167]</sup>. Même si le forçage radiatif cumulé du méthane est moindre que celui du CO<sub>2</sub>, la réduction des émissions de méthane ne doit pas être oubliée

<sup>[166]</sup>.

### 3.3 Autres causes mineures du réchauffement climatique

D'autres causes anthropogéniques ont été pointées par la communauté scientifique. Les effets de ces différents facteurs sont souvent moins bien connus comme en témoigne le graphique *composante du forçage radiatif*. On peut citer :

L'utilisation des terres qui a un effet sur l'**albédo**. Par exemple, les terres cultivées sont en général plus claires que les forêts <sup>[168]</sup>.

Le trou de la couche d'ozone pourrait également avoir un effet important, mais qui reste encore très méconnu. En effet, l'ozone stratosphérique, en absorbant les rayons UV réchauffe la stratosphère ; l'absence d'ozone conduit donc à un refroidissement de la stratosphère qui conduirait selon certaines analyses à une augmentation de la hauteur de la tropopause, et à un décalage de toute la circulation atmosphérique (cellule de Hadley, circulation d'humidité, circulation d'énergie) vers les pôles <sup>[169]</sup>. L'effet de ce changement de circulation est également discuté, mais il semblerait <sup>[170]</sup> que le déplacement de la couverture nuageuse des *storm tracks* vers les pôles diminuerait l'albédo des latitudes moyennes et participerait donc au réchauffement climatique.

La mauvaise gestion des forêts peut avoir des conséquences sur la quantité de carbone puisées par celles-ci. Plusieurs études <sup>[171]</sup> montre que l'efficacité du captage du carbone par les arbres dépend fortement de leur santé. Par exemple, certains facteurs (pollution atmosphérique, prolifération des parasites, vague de chaleur) peuvent affecter durablement la productivité primaire brute des arbres, c'est-à-dire la quantité de carbone captée. En 2003, en

raison de la vague de chaleur et par conséquent de la pollution atmosphérique stagnante et de la prolifération des parasites des arbres, la productivité primaire brute a diminué de 8% en France et de 15% dans le nord de l'Italie. Ce déficit du puits de carbone aurait pu être réduit grâce à une meilleure gestion des forêts (mélange des essences d'arbre, espacement des arbres).

## 4 Projections

Dans le cinquième rapport du GIEC, une projection climatique est définie comme la réponse du climat à un scénario d'émission de concentration de gaz à effet de serre et d'aérosols <sup>[172]</sup>. Ces projections sont des simulations obtenues à partir de modèles numériques. Elles dépendent fortement du scénario d'émission de gaz et effet de serre, lui-même basé sur des hypothèses sur le développement socio-économique et technologique future. Ce scénario d'émission constitue la source la plus importante d'incertitude des projections de la température de surface atmosphérique globale à l'horizon 2100 <sup>[a 6]</sup>, <sup>[173]</sup>, <sup>[174]</sup>. Ces projections sont réalisées dans le cadre du projet d'intercomparaison des modèles couplés par les groupes de recherches du monde entier. Le dernier exercice de ce projet (CMIP5) a associé près de 50 modèles climatiques <sup>[175]</sup>.

### 4.1 Modèles climatiques

Article détaillé : **Modèle climatique**.

Les projections par les scientifiques de l'évolution future du climat est possible par l'utilisation de **modèles mathématiques** traités informatiquement sur des superordinateurs <sup>[176]</sup>. Ces modèles, dits de **circulation générale**, reposent sur les lois générales de la **thermodynamique** et simulent les déplacements et les températures des masses atmosphériques et océaniques. Les plus récents prennent aussi en considération d'autres phénomènes, comme le **cycle du carbone**.

Ces modèles sont considérés comme valides par la communauté scientifique lorsqu'ils sont capables de simuler des variations connues du climat, comme les variations saisonnières, le phénomène **El Niño**, ou l'**oscillation nord-atlantique**. Les modèles les plus récents simulent de façon satisfaisante les variations de température au cours du XX<sup>e</sup> siècle. En particulier, les simulations menées sur le climat du XX<sup>e</sup> siècle sans intégrer l'influence humaine ne rendent pas compte du réchauffement climatique, tandis que celles incluant cette influence sont en accord avec les observations <sup>[17]</sup>.

Les modèles informatiques simulant le climat sont alors utilisés par les scientifiques pour établir des scénarios d'évolution future du climat, mais aussi pour cerner les

causes du réchauffement climatique actuel, en comparant les changements climatiques observés avec les changements induits dans ces modèles par différentes causes, naturelles ou humaines. Ces modèles sont l'objet d'incertitudes de nature mathématique, informatique, physique, etc. Les trois principales sources d'incertitude mentionnées par les climatologues sont :

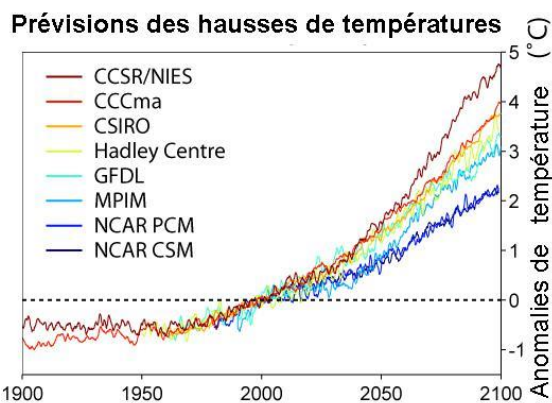
la modélisation des nuages ;

la simulation de phénomènes de petite échelle, comme les cellules orageuses, ou l'effet du relief sur la circulation atmosphérique ;

la modélisation de l'interface entre les océans et l'atmosphère.

De façon plus générale, ces modèles sont limités d'une part par les capacités de calcul des ordinateurs actuels, et le savoir de leurs concepteurs d'autre part, la climatologie et les phénomènes à modéliser étant d'une grande complexité. L'importance des investissements budgétaires nécessaires sont aussi un aspect non négligeable de la recherche dans le domaine du réchauffement climatique. Malgré ces limitations, le GIEC considère les modèles climatiques comme des outils pertinents pour fournir des scénarios d'évolution utiles du climat.

## 4.2 Poursuite du réchauffement climatique

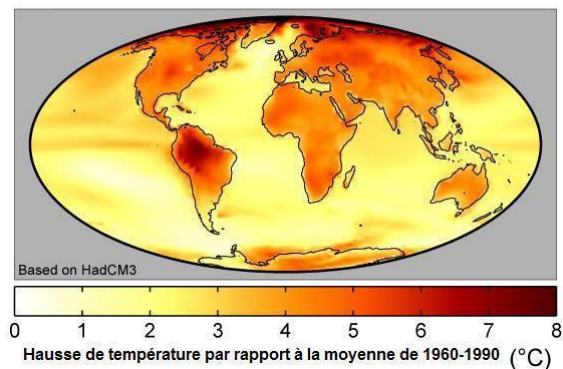


Pour les climatologues regroupés au sein du GIEC, l'augmentation des températures devrait se poursuivre au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. L'ampleur du réchauffement attendu le plus probable est de 1,8 à 3,4 °C à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle (ce qui ne signifie pas la fin de l'augmentation des températures en 2100).

L'ampleur du réchauffement prévu est incertaine ; les simulations tiennent compte :

des incertitudes liées aux modèles (voir plus haut) ;

**Prévisions des hausses de températures pour 2070-2100**



des incertitudes sur le comportement de l'humanité au cours du XXI<sup>e</sup> siècle.

Afin de prendre en compte ce dernier paramètre dans les projections, les climatologues utilisent différents scénarios d'émission de gaz à effet de serre (GES) et d'aérosols. Les scénarios utilisés dans les 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> rapports du GIEC sont détaillés dans le rapport *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES)<sup>[177]</sup>. Ces scénarios ne prennent pas en compte l'éventualité d'une modification intentionnelle des émissions de GES à l'échelle mondiale. Les scénarios utilisés dans la cinquième phase du projet CMIP servant de base au 5<sup>e</sup> rapport du GIEC sont appelés scénarios RCP pour *representative concentration pathway*<sup>[178],[179]</sup>. Quatre scénarios ont été utilisés :

RCP 8.5 : scénario de forte émission. Ce scénario correspond à un futur sans politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Il est comparable à l'ancien scénario SRES A1F1.

RCP 6 : scénario d'émission intermédiaire. Dans ce scénario, le forçage radiatif se stabilise peu après 2100, ce qui correspond à une stratégie de réduction des émissions de GES. Il est comparable à l'ancien scénario SRES B2.

RCP4.5 : scénario d'émission intermédiaire. Comme le scénario RCP6, il correspond à une stratégie de réduction des émissions de GES. Il est comparable à l'ancien scénario SRES B1.

RCP2.6 : Réduction des émissions de GES. Il correspond à une politique ambitieuse de réduction des émissions de GES. Il n'a pas son équivalent parmi les anciens scénarios SRES.

Les incertitudes liées au fonctionnement des modèles sont mesurées en comparant les résultats de plusieurs modèles pour un même scénario, et en comparant les effets de petites modifications des scénarios d'émission dans chaque modèle.

Les variations observées dans les simulations climatiques sont à l'origine d'un éparpillement des prévisions de

l'ordre de 1,3 à 2,4 °C, pour un scénario (démographique, de croissance, de « mix énergétique mondial », etc.) don-né. Le type de scénario envisagé a un effet de l'ordre de 2,6 °C sur le réchauffement climatique simulé par ces modèles et explique une bonne partie de la marge d'in-certitude existant quant à l'ampleur du réchauffement à venir.

Les projections d'augmentation de température pour l'horizon 2100 données par le GIEC (SPM du rapport de 2007) s'échelonnent de 1,1 à 6,3 °C. Les experts du GIEC affinent leurs projections en donnant des valeurs considérées comme « les meilleures estimations », ce qui permet de réduire la fourchette de 1,8 à 4,0 °C. Et en éliminant le scénario A1F1, considéré comme irréaliste, l'augmentation de température serait comprise entre 1,8 et 3,4 °C.

Les scientifiques du Giec considèrent que ces scénarios sont les meilleures projections actuellement possibles, mais qu'ils sont toujours sujets à des réajustements ou à des remises en cause au fur et à mesure des avancées scientifiques. Ils considèrent qu'il est nécessaire d'obtenir des modèles plus réalistes et une meilleure compréhension des phénomènes climatiques, ainsi que des incertitudes associées.

Cependant, de nombreux climatologues pensent que les améliorations à court terme apportées aux **modèles cli-matiques** ne modifieront pas fondamentalement leurs ré-sultats, à savoir que le réchauffement planétaire va conti-nuer et que son ampleur sera plus ou moins importante en fonction de la quantité de **gaz à effet de serre** émis par les activités humaines au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, et ce en raison de l'inertie des systèmes climatiques à l'échelle planétaire.

Certains articles scientifiques montraient que l'année 1998 a été la plus chaude de toute l'histoire de la météorologie<sup>[N 6]</sup>, que le réchauffement s'accélère — 0,8 °C en un siècle, dont 0,6 °C sur les trente dernières années

— mais aussi d'après l'analyse de sédiments marins, que la chaleur actuelle se situe dans le haut de l'échelle des températures depuis le début de l' **holocène**, c'est-à-dire depuis 12 000 ans<sup>[184]</sup>. En février 2014, une comparai-son des données de températures moyennes de la planète, telles que mesurées par quatre équipes, désigne l'année 2010 comme la plus chaude, suivie de l'année 2005 ; le 3<sup>e</sup> rang est disputé entre 1998 et 2007 ; 2013 apparaît au 4<sup>e</sup> rang pour une équipe, au 5<sup>e</sup> rang pour une autre<sup>[185]</sup>.

Une étude publiée en février 2013 dans *Global Environmental Change*<sup>[186]</sup> démontre que la plupart des prévisions du GIEC se sont avérées trop optimistes (à l'exception de celles concernant la hausse des températures) : ainsi, la hausse du niveau des océans sur la période 1993-2011 a été de  $3,2 \pm 0,5$  mm/an, soit 60 % plus rapide que l'estimation du GIEC de de 2 mm/an ; la fonte de la **banquise** arctique a été beaucoup plus ra-pide que les pires prévisions du GIEC ; la progression des émissions des pays émergents a été largement sous-

estimée (3 à 4 % par an en Chine dans les hypothèses du GIEC, 10 à 11 % en réalité) si bien que les émis-sions mondiales de CO<sub>2</sub> sont alignées sur le plus pessi-miste des scénarios du GIEC ; l'amplification du réchauf-fement causée par la fonte du **pergélisol** n'a pas été prise en compte dans les modèles du GIEC, etc ; l'étude at-tribue ce syndrome ESLD (Erring on the Side of Least Drama - Pêcher par excès de dédramatisation) à une ré-action excessive aux accusations d'alarmisme lancées par les **climato-sceptiques**, ainsi qu'à la culture de prudence scientifique<sup>[187]</sup>.

L'étude du *Global carbon project*<sup>[188]</sup>, publiée le 21 septembre 2014, avant le sommet de l'ONU sur le climat, annonce que les émissions de CO<sub>2</sub> devraient atteindre 37 Gt (gigatonne = milliard de tonnes) en 2014 et 43,2 Gt en 2019 ; en 2013, elles avaient progressé de 2,3 % pour atteindre 36,1 Gt. En 2013, un Chinois émet désormais davantage qu'un Européen, avec 7,2 tonnes de CO<sub>2</sub> par tête contre 6,8 tonnes par tête dans l'Union européenne, mais un Américain émet 16,4 tonnes de CO<sub>2</sub> ; la progres-sion de ces émissions est très rapide en Chine (+4,2 % en 2013) et en Inde (5,1 %) alors qu'en Europe elles re-culent ( 1,8 %). Le *Global carbon project* souligne que la trajectoire actuelle des émissions de gaz carbonique concorde avec le pire des scénarios évoqués par le GIEC, qui table sur une hausse de la température mondiale de 3,2 à 5,4 °C d'ici 2100<sup>[189]</sup>.

## 5 Conséquences environnementales prévues

Les modèles utilisés pour prédire le réchauffement pla-nétaire futur peuvent aussi être utilisés pour simuler les conséquences de ce réchauffement sur les autres para-mètres physiques de la Terre, comme les calottes de glace, les précipitations ou le niveau des mers. Dans ce domaine, un certain nombre de conséquences du réchauffement cli-matique sont l'objet d'un consensus parmi les climato-logues.

### 5.1 Montée des eaux

Article détaillé : **Élévation du niveau de la mer**.

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 ré-chauffement (**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<sup>[b 2]</sup>.

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)<sup>[17],[135]</sup>. L'élévation prévue du niveau de la mer en 2100 est de 18 à 59 cm, selon le quatrième rapport du Giec<sup>[a 7]</sup>. 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<sup>[135]</sup>.

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.

## 5.2 Précipitations et foudre

Selon le rapport 2007 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<sup>[e 3]</sup>, 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<sup>[21]</sup>. Selon des études publiées en 2007-2008, à l'horizon 2025, un tiers de la population mondiale pourrait se trouver en état de stress hydrique<sup>[190]</sup> ; le réchauffement aurait tantôt un effet positif, tantôt un effet négatif, la balance entre les deux dépendant du mode de comptage adopté<sup>[191]</sup>.

Selon une étude publiée en novembre 2014 dans la revue *Science*, le réchauffement climatique devrait accroître de 50 % le nombre d'impacts de foudre au cours du XXI<sup>e</sup> siècle ; le risque de foudre pourrait s'accroître de 12 % par degré Celsius additionnel aux États-Unis<sup>[192]</sup>.

## 5.3 Dégradation de la qualité de l'air

Le dérèglement climatique pourrait avoir des effets synergiques, aggravants et délocalisés à propos de nombreux polluants de l'air, en particulier via le risque d'une érosion hydrique et éolienne accrue et via un risque aggra-

vé d'incendies de forêt et d'une moindre capacité des milieux à fixer les poussières. Une acidification des milieux risque aussi de rendre les métaux et métalloïdes toxiques plus mobiles (et plus bioassimilables), dont dans le compartiment atmosphérique.

Ce sujet est en France notamment traité par l'INERIS dans le cadre du projet SALUTAIR, et dans la perspective de la COP 21 à Paris en 2015<sup>[193]</sup> et dans le cadre du projet SALUTAIR (*Évaluation des stratégies de lutte contre la pollution de l'air à longue distance dans le contexte du changement climatique*)<sup>[194]</sup>, et depuis 2009 au moins<sup>[195],[196]</sup>. Il s'agit notamment de mieux comprendre et modéliser les effets sur la pollution dite « longue distance », par exemple étudiée par le programme de re-cherche PRIMEQUAL<sup>[197]</sup>

## 5.4 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)<sup>[198]</sup>. 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 pour- raient ralentir ou s'arrêter, et ne plus assurer les échanges thermiques actuels entre l'équateur et les zones tempérées. Pour le XXI<sup>e</sup> 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<sup>[a 8]</sup>.

### 5.4.1 Arrêt de la circulation thermohaline

Article détaillé : Arrêt de la circulation thermohaline.

Selon une théorie, un éventuel arrêt de la circulation thermohaline, dû au réchauffement climatique, pourrait engendrer une chute importante de température voire une

ère glaciaire en Europe et dans les régions à hautes latitudes. En effet, l'Europe se situe à la même latitude que le Québec, et l'étude de Detlef Quadfasel publié dans *Nature* (revue) en décembre 2005 démontre qu'une partie de la différence de climat semble résider dans le fait que l'Europe profite de l'apport thermique du Gulf Stream<sup>[199]</sup>. L'équateur, à l'inverse, accumulerait alors de la chaleur stimulant de ce fait la formation continue d'ouragans amenant des précipitations de grande ampleur.

Cette hypothèse d'un refroidissement de l'Europe qui suivrait le réchauffement global n'est cependant pas validée. En effet, il n'est nullement établi que le Gulf Stream soit la seule cause des hivers doux en Europe. Ainsi, Richard Seager a publié en 2002 une étude scientifique sur l'influence du Gulf Stream sur le climat<sup>[200]</sup>. Selon lui l'effet du Gulf Stream est un mythe et n'a qu'un effet mineur sur le climat en Europe. La différence entre les températures hivernales entre l'Amérique du Nord et l'Europe est due au sens des vents dominants (vent continental glacial du nord sur la côte Est de l'Amérique du Nord et vent océanique de l'ouest en Europe) et à la configuration des Montagnes Rocheuses.

## 5.5 Glaces et couverture neigeuse

Les scientifiques du GIEC prévoient, pour le XXI<sup>e</sup> 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<sup>[d 2]</sup>. En revanche, l'évolution de la calotte glaciaire antarctique au cours du XXI<sup>e</sup> 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<sup>[201]</sup>. 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<sup>[202]</sup>.

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<sup>[203]</sup>.

Cependant, la quantité de glace de l'Antarctique déversée dans les mers a augmenté de 75 % durant les dix années précédant 2008<sup>[203]</sup>. 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<sup>[41]</sup>.

## 5.6 Déclin de la biomasse océanique

La masse de phytoplancton décline de 1 % par an depuis quarante ans. Les zones mortes océaniques, déficitaires en oxygène dissous produit par ces organismes unicellulaires, s'étendent au rythme de 8 % par an : le Programme des Nations unies pour l'environnement en dénombrait 150 en 2003 ; elles sont plus de 500 en 2015. Les co-raux sont également en danger et, avec eux, un milliard d'êtres humains sont menacés de famine : selon une étude conduite par Pascale Chabanet, chercheuse à l'Institut de recherche pour le développement (IRD) de La Réunion, sur une soixantaine de sites coralliens de l'océan Indien, la moitié a déjà disparu ; « avec l'extinction des forêts coralliennes, c'est le réservoir de biodiversité vivrière le plus riche de la planète qui est en train de s'éteindre »<sup>[204]</sup>.

## 5.7 Conséquences brusques ou irréversibles, et perspectives

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 »<sup>[a 8]</sup>.

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<sup>[a 8]</sup>.

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<sup>[a 8]</sup>. En mai 2008, les États-Unis ont inscrit l'ours blanc d'Alaska sur la liste des espèces menacées<sup>[205]</sup>.

Le réchauffement pourrait induire un effet rebond irréversible à échelle humaine de temps s'il amorce des incendies de forêts<sup>[réf. nécessaire]</sup> 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<sup>[64]</sup>.

L'eau plus chaude et plus acide, et des pluies hivernales plus intenses, ainsi que des chocs thermiques et mouvements de nappe accrus pourraient avoir avant la fin du siècle des effets indirects sur le sol et sous-sols : des effondrements de **cavités souterraines** (**carrières**, d'anciens abris souterrains, de **sapes** de guerre ou de **marnières** etc.) sont attendus. (3 000 communes sont soumises à ce risque en France, hors risque d'« **affaissement minier** » selon l'INERIS<sup>[206]</sup>. Un Plan cavités (sur les risques liés ou non au changement climatique) serait à l'étude en France selon l'INERIS.

Certains, dont le climatologue James Hansen, estiment que « la Terre pourrait avoir déjà dépassé le seuil dangereux de CO<sub>2</sub>, et la sensibilité de la planète au dioxyde de carbone est bien plus importante que celle retenue dans les modèles<sup>[207]</sup> ».

Des visions prospectives optimistes et moins optimistes cohabitent en 2009 : certains insistent sur le fait que les solutions techniques existent, et qu'il ne reste qu'à les appliquer (les maisons pourraient être isolées, et produire plus d'électricité qu'elles n'en consomment, les transports maîtrisés, les villes pourraient être plus autonomes et dépolluer l'air<sup>[208]</sup>). D'autres — tout en invitant à appliquer au plus vite ces solutions voire une décroissance soutenable et conviviale — **réalertent**, constatant que de 1990 à 2009, la tendance a été la réalisation des fourchettes hautes d'émission de gaz à effet de serre, conduisant aux scénarios-catastrophe du Giec<sup>[209]</sup>, et estiment qu'il est temps de cesser de parler de « *changement* » pour *décrire une catastrophe*<sup>[210]</sup>.

Une étude parue dans la revue **Science** du 3 juillet 2015 prévoit, au-delà de 2 °C de réchauffement, des impacts massifs et généralement irréversibles sur les écosystèmes océaniques et les services qu'ils rendent ; les efforts d'adaptation deviendraient alors inopérants<sup>[211]</sup>.

## 5.8 Phénomènes à très long terme

La majorité des climatologues pensent que les phénomènes induits par l'émission des gaz à effet de serre vont se poursuivre et s'amplifier à très **long terme**. Le troisième rapport du GIEC insiste en particulier sur les points suivants :

certain gaz à effet de serre, ont une espérance de vie longue, et influent donc sur l'effet de serre longtemps après leur émission (durée de vie dans l'atmosphère d'environ 100 ans pour le CO<sub>2</sub><sup>[212]</sup> ; de par l'inertie du système climatique, le réchauffement planétaire se poursuivra après la stabilisation

de la concentration des gaz à effet de serre. Ce réchauffement devrait cependant être plus lent ; l'inertie, plus grande encore, de la masse océanique fait que l'élévation du niveau des mers se poursuit même après la stabilisation de la température moyenne du globe. La fonte de calottes glaciaires, comme celle du **Groenland**, sont des phénomènes se déroulant sur des centaines voire des milliers d'années<sup>[b 2]</sup>.

Les récentes observations dans la zone arctique menées sous l'égide du programme européen Damoclès (Developing Arctic Modelling and Observing Capabilities for Long-term Environmental Studies) ont créé une véritable surprise dans le monde scientifique. En effet, celles-ci montrent une différence importante avec les prévisions issues des différents modèles et sur lesquelles sont basées les conclusions du GIEC : ceci se traduit par une nette accélération des effets dus à l'augmentation des **gaz à effet de serre en Arctique** (fonte totale de la banquise en été d'ici 2020)<sup>[213],[214]</sup>.

## 5.9 Rétroactions

Les scientifiques nomment **rétroactions** les actions en retour du système climatique sur lui-même. Ces rétroactions sont positives lorsque le réchauffement climatique induit des phénomènes contribuant eux-mêmes à accentuer ce réchauffement, et négatives lorsque les phénomènes induits contribuent à réduire le réchauffement. De telles rétroactions ont déjà été observées lors de précédents réchauffements climatiques, à la fin d'une ère glaciaire ; le climat peut ainsi, en quelques années, se réchauffer de plusieurs degrés.

Les principales rétroactions, qui sont positives, sont les suivantes :

le dégagement de méthane : le **méthane** (CH<sub>4</sub>, qui n'est autre que le gaz naturel, à quelques « impuretés » près), est un gaz à effet de serre 23 fois plus réchauffant que le CO<sub>2</sub>. Il se forme lorsque la décomposition de la matière organique s'effectue avec un manque d'oxygène, et sous l'action de bactéries, un processus nommé **méthanisation**. Les sols humides (marais) sont très propices à cette création de méthane, qui est alors libéré dans l'atmosphère (cela peut donner lieu à des inflammations spontanées et l'on peut observer des **feux follets**). Si le sol est gelé, le méthane reste piégé dans la glace sous la forme d'**hydrates de méthane**. Le sol de **Sibérie** est ainsi un immense réservoir de méthane (sans doute trop diffus pour être exploité industriellement) : selon Larry Smith du département de géographie de l'**UCLA**, la quantité de méthane présent dans le sol sibérien serait de 70 milliards de tonnes, soit un quart du méthane stocké à la surface de la planète<sup>[215]</sup>. Si le sol



se réchauffe, la glace fond et libère le méthane déjà présent initialement, ce qui a pour conséquence un effet de serre plus marqué, et par suite un emballement du réchauffement climatique, qui fait fondre la glace encore plus vite. On parle aussi de **bombe à carbone** ;

le ralentissement et la modification des courants océaniques : l'océan capte aujourd'hui le tiers du CO<sub>2</sub> émis par les activités humaines. Mais si les courants océaniques ralentissent, les couches d'eau superficielles peuvent se saturer en CO<sub>2</sub> et ne pourraient plus en capter comme aujourd'hui. La quantité de CO<sub>2</sub> que peut absorber un litre d'eau diminue à mesure que l'eau se réchauffe. Ainsi, de

grandes quantités de CO<sub>2</sub> peuvent être relarguées si les courants océaniques sont modifiés. En outre, l'accumulation de CO<sub>2</sub> dans les océans conduit à l'acidification de ces derniers, ce qui affecte l'écosystème marin et peut induire à long terme un relargage de CO<sub>2</sub>. Les moteurs de la circulation océanique sont de deux types : l'eau en se rapprochant des pôles se refroidit et devient donc plus dense. De plus, l'eau de mer qui gèle rejette son sel dans l'eau liquide (la glace est constituée d'eau douce), devenant au voisinage des calottes glaciaires encore plus dense. Cette eau plonge donc et alimente la pompe : l'eau plus chaude de la surface est aspirée. L'eau du fond (froide) remonte dans les zones des tropiques et / ou équatoriales et se réchauffe, ce-ci en un cycle de plus de 1 000 ans. Si les calottes de glace fondent, la pompe se bloque : en effet, l'eau qui plonge provient de la calotte et non plus de l'eau refroidie en provenance des tropiques. Un effet si-milaire est observé si les précipitations augmentent aux hautes latitudes (ce qui est prévu par les modèles) : l'eau qui plongera sera l'eau douce de pluie. À terme, une forte perturbation du **Gulf Stream** est envisageable ;

Article détaillé : **Circulation thermohaline**.

la variation d'**albédo** : actuellement, la neige et la glace des zones polaires réfléchissent les rayons solaires. En cas de fonte de cette neige ou de cette glace, les rayons solaires sont davantage absorbés, entraînant un réchauffement supplémentaire de ces régions et une fonte accentuées, amplifiant le phénomène.

Les rétroactions négatives sont plus incertaines :

le développement de la végétation : dans certaines régions, le réchauffement climatique pourrait être favorable au développement de la végétation, qui est un **puits de carbone**, ce qui contribuerait à limiter l'augmentation des gaz à effets de serre ; or un article

d'une équipe d'écologues forestiers néerlandais, paru lundi 15 décembre 2014 dans *Nature Geoscience*, annonce qu'ils n'observent aucune croissance accélérée des arbres tropicaux depuis cent cinquante ans, ce qui suggère que cette rétroaction négative n'existerait pas<sup>[216]</sup> ;

le rôle de la vapeur d'eau : le réchauffement climatique pourrait augmenter la formation de nuages contribuant à réfléchir davantage les rayons solaires. Cependant, la vapeur d'eau est elle-même un gaz à effet de serre et le bilan final d'une augmentation de vapeur d'eau dans l'atmosphère est assez difficile à prévoir.

## 5.10 Conséquences du réchauffement climatique sur l'homme et la biosphère

Au-delà des conséquences directes, physiques et climatiques, du réchauffement planétaire, celui-ci influence 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. À partir des travaux publiés dans des journaux scientifiques évalués par les pairs, la CDB (via DIVERSITAS, le PNUE-WCMC) a produit ces « *scénarios de biodiversité* » avec la participation d'environ quarante experts, dont huit français<sup>[217],[218]</sup>.

En France, la fondation biodiversité (FRB), dans le cadre du programme phare « modélisation et scénarios de biodiversité » a traduit en français ce cahier technique<sup>[219]</sup>.

Dans le monde, selon le **GIEC**, la capacité de nombreux écosystèmes à s'adapter naturellement sera probablement dépassée par la combinaison<sup>[220]</sup> sans précédent des :

**bouleversements climatiques : inondations, incendies de forêts, sécheresses, insectes, acidification des océans ;**

**changements mondiaux : changements d'affectation des sols (déforestation, barrages...), pollution, sur-exploitation des ressources.**

Le déséquilibre naturel qui s'ensuivra pourrait entraîner la disparition de plusieurs espèces animales et végétales. C'est une préoccupation dont les États, comme la

France<sup>[221]</sup>, commencent à tenir compte. Pour l'ensemble des populations humaines, ces effets « physiques » et « écologiques » auront de fortes répercussions. La très grande complexité des systèmes écologiques, économiques et sociaux affectés par le réchauffement climatique ne permet pas de faire des prévisions chiffrées comme pour la modélisation physique de la Terre.

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

Le bilan global du réchauffement climatique en termes de biodiversité sera négatif selon un certain nombre d'études<sup>[222],[223],[224]</sup> et selon le consensus du quatrième rapport du Giec qui envisage la disparition de 40 à 70 % des espèces évaluées<sup>[a 8]</sup> ; certaines espèces verront peut-être (et éventuellement provisoirement) leur population et leur aire de répartition augmenter (par exemple pour la marmotte à ventre jaune<sup>[225]</sup>).

certaines 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 Antilles<sup>[226]</sup>. 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<sup>[227]</sup>. 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<sup>e</sup> 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, à la suite de 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<sup>[228]</sup> mais le gouvernement du Royaume-Uni fait remarquer que ce professeur a choisi d'ignorer tous les rapports récents qui le contredisent<sup>[229]</sup> ;

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<sup>e</sup> 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 à la suite de la fonte des glaces dans le passage du Nord-Ouest<sup>[230]</sup>.

## 5.11 Conséquences en France

En ce qui concerne la France, l'élévation de température pourrait augmenter le nombre de canicules en 2100<sup>[231]</sup>. Alors que le nombre de jours de canicule est actuellement de 3 à 10 par an, il pourrait s'élever à une moyenne de 20 à 40 en 2100, rendant banale la canicule exceptionnelle de 2003<sup>[232],[d 3]</sup>. Selon une étude parue dans *Nature climate change*, ces canicules plus fréquentes seraient déclenchées par une modification de la circulation atmosphérique à toutes les altitudes, y compris du jet-stream, ce dernier migrant plus au nord, sous l'effet de la rétraction estivale des glaces et neiges arctiques<sup>[233]</sup>.

Les précipitations seraient plus importantes en hiver, mais moindres en été. Les régions connaissant des durées de plus de 25 jours consécutifs sans pluie, actuellement limitées au sud-est de la France, s'étendraient à la moitié ouest du territoire<sup>[b 3]</sup>.

D'une façon générale, les espèces arborées en France vont connaître une remontée vers le nord. Ce modèle repose sur plusieurs scénarios du rapport du GIEC de 2007 :

Un scénario optimiste B2 qui prévoit une augmentation des températures de 2 °C pour 2100.

Un scénario pessimiste A2 qui prévoit une augmentation des températures de 3,5 °C pour 2100.

On voit alors que dans les deux cas, on observe une diminution de l'aire de répartition des 3 types non méditerranéens (montagnard, continental, atlantique) et une augmentation de celle des espèces méditerranéennes<sup>[234]</sup>.

Plus particulièrement : L'épicéa risquerait de disparaître du Massif Central et des Pyrénées. Le chêne, très répandu dans l'Est de la France, verrait son domaine réduit au Jura et aux Vosges, mais le pin maritime, actuellement implanté sur la façade Ouest, s'étendrait sur la moitié ouest de la France et le chêne vert s'étendrait dans le tiers sud, marquant une étendue du climat méditerranéen<sup>[b 4],[235]</sup>.

Les cultures du midi méditerranéen, telles que celle de l'olivier, pourraient s'implanter dans la vallée du Rhône. On peut désormais trouver des oliviers en tant qu'arbres d'ornement sur toute la façade sud-ouest de l'océan Atlantique, et ce jusqu'en Vendée. Par contre, faute d'eau suffisante, la culture du maïs serait limitée à la partie nord et nord-est du territoire. Les céréales verraient leur rendement augmenter si l'élévation de température ne dépasse pas 2 °C. Par contre, si elle était supérieure, les plantes cultivées auraient du mal à s'adapter et on pourrait craindre des difficultés agricoles<sup>[b 5],[d 4]</sup>.

Les chutes de neige seraient moins abondantes, entraînant un moindre approvisionnement en eau des fleuves, mais également des difficultés économiques pour les villages de montagne. Ainsi, les stations de ski situées à moins de 1 500 m d'altitude seraient amenées à fermer leurs pistes et à se reconvertir<sup>[b 6]</sup>.

### 5.11.1 Prospective climatique régionale

En 2012, des scénarii régionalisés ont été publiés<sup>[236]</sup> par l'ONERC, sous la direction de Jean Jouzel, avec des indices de références pour la métropole<sup>[237]</sup>, et des éléments prospectifs concernant la montée du niveau de la mer<sup>[238]</sup>. C'est un outil d'aide à la décision, complémentaire du SRCAE (Schéma régional climat - air - énergie).

Le 6 septembre 2014 a été publié le volume 4 du rapport « Le climat de la France au XXI<sup>e</sup> siècle », présentant les résultats pour la France des nouveaux scénarios du GIEC ; ses principales conclusions<sup>[239]</sup> sont :

à l'horizon 2021-2050, une hausse des températures moyennes de 0,6 °C à 1,3 °C, selon les scénarios, par rapport à la période de référence 1976-2005 ; cette hausse serait plus importante dans le Sud-Est en été (+1,5 °C à +2 °C) ;

à l'horizon 2071-2100 :

une forte hausse des températures moyennes : de 0,9 °C à 3,4 °C-3,6 °C en hiver et de 1,3 °C à 2,6 °C-5,3 °C en été, selon les scénarios (les valeurs les plus élevées étant celles des scénarios prolongeant les tendances passées, les plus basses celles des scénarios supposant des actions très volontaristes) ; dans le Sud-Est, la hausse pourrait largement dépasser 5 °C en été ;

une forte augmentation du nombre de jours de vagues de chaleur en été, pouvant dépasser vingt jours dans le Sud-Est ;

une augmentation des épisodes de sécheresse, surtout dans le Sud ;

une diminution des extrêmes froids : 6 à 10 jours de moins dans le Nord-Est, moins ailleurs, peu marquée dans le Sud ;

une hausse des précipitations hivernales ;

un renforcement du taux de précipitations ex-trêmes.

Le rapport complet est téléchargeable<sup>[240]</sup>.

La région Aquitaine a également fait faire une étude très détaillée sur l'évolution du climat aquitain à l'horizon 2050, sous la direction du climatologue Hervé le Treut, membre du GIEC et de l'Académie des sciences. C'est la première étude d'une telle ampleur à l'échelle d'une région : elle a requis 170 scientifiques de domaines variés pendant deux ans<sup>[241]</sup>.

## 6 Conséquences humaines du réchauffement climatique

Article connexe : Enjeux du réchauffement climatique.

Face au réchauffement climatique, l'Académie des Sciences américaine note, dans un rapport de 2002<sup>[242]</sup> : « il est important de ne pas adopter d'attitude fataliste en face des menaces posées par le changement de climat. (...) Les sociétés ont dû faire face à des changements du climat graduels ou abrupts durant des millénaires et ont su s'adapter grâce à des réactions diverses, telles que s'abriter, développer l'irrigation ou migrer vers des régions plus hospitalières. Néanmoins, parce que le changement du climat est destiné à continuer dans les prochaines décennies, dénier la possibilité d'événements climatiques abrupts ou minimiser leur impact dans le passé pourrait s'avérer coûteux. ».



## 6.1 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<sup>[a 7]</sup>. 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)<sup>[135]</sup>.

Localement, 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, affaissements miniers ...

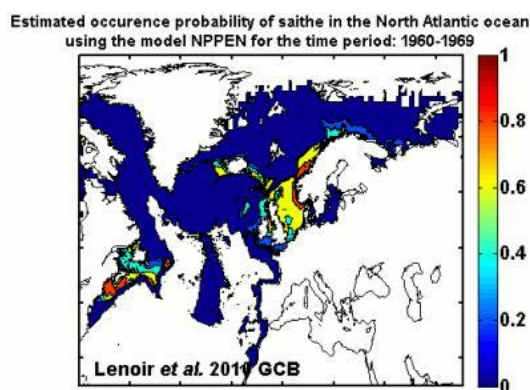
En France, des études sont menées pour évaluer l'impact de la montée des eaux sur le littoral d'ici 2100 et les aménagements à envisager<sup>[243]</sup>.

## 6.2 Pêcheries

Le réchauffement des océans a un impact sur les organismes marins et notamment les espèces exploitées. Cet impact s'observe sur la biogéographie des espèces et sur la structure et la trophodynamique de l'écosystème marin. Des bouleversements, dans la distribution spatiale et l'abondance d'espèces de poissons, tels la morue de l'Atlantique ont été observés en réponse directe ou indirecte aux modifications climatiques<sup>[244],[245]</sup>.

Probabilité de présence du lieu noir en Atlantique Nord (animation)

En Atlantique Nord, les espèces risquent d'effectuer en



Probabilité de présence du lieu noir en Atlantique Nord estimée à partir d'un modèle d'habitat (NPPEN)<sup>[246]</sup>, pour la période allant de 1960 à 2099, basée sur le scénario d'évolution des températures du GIEC : ECHAM4 B2)

majorité un déplacement dirigé vers le nord, pour rester dans un environnement conforme à leurs exigences écologiques et plus particulièrement thermiques<sup>[247],[248]</sup>. L'in-

tensité et la vitesse des mouvements biogéographiques attendus, de même que le bilan des gains ou pertes d'aires de répartition spatiale diffèrent selon les espèces et l'intensité du réchauffement climatique. En mer du Nord, des espèces comme le lieu jaune, à la niche écologique étroite et aux exigences strictes, risquent de disparaître à la suite de la contraction de leur aire de répartition. D'autres espèces, plus adaptées verront leur abondance augmentée ou/et leur limite supérieure de distribution repoussée au nord, tel le lieu noir<sup>[248]</sup>. La modification des aires de répartition des espèces de poissons exploitées risquent de poser des problèmes d'un nouveau genre aux acteurs du secteur économique de la pêche. Associées à l'épuisement des ressources lié à la surexploitation, des disparitions locales d'espèces cibles risquent de survenir, conduisant les professionnels de la pêche à modifier leur mode d'activité afin de prévoir, d'anticiper et de compenser les changements potentiels de leurs ressources.

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 CO<sub>2</sub>. 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<sup>[249],[250]</sup>. Ceci devrait aider à mieux comprendre certains effets (sur les gènes) du réchauffement climatique.

## 6.3 Agriculture

L'accroissement de l'évaporation devrait augmenter localement la pluviosité hivernale, sauf dans les pays méditerranéens qui verraient la sécheresse s'accroître<sup>[b 7]</sup>, dans un contexte où la violence et/ou la fréquence et gravité des aléas climatiques pourraient croître.

En zone tempérée (hors des zones arides qui pourraient le devenir encore plus) et circumpolaire, dans un premier temps, la conjonction du réchauffement et de l'augmentation du taux de CO<sub>2</sub> 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<sup>[b 8]</sup>, mais des signes de dépérissement forestier semblent déjà visibles dans ces zones.

Le Comité économique et social européen dans son avis<sup>[251]</sup> du 3 février 2009 note que des études comparatives concluent à un bilan de l'agriculture biologique en moyenne meilleur (au regard de la consommation de matières premières et d'énergie et au regard du carbone stocké ou des émissions de gaz à effet de serre) que celui de l'agriculture dite conventionnelle<sup>[252]</sup>, même si l'on tient compte des rendements moindres de l'agriculture

bio, ce qui a justifié que le gouvernement allemand, l'intègre parmi les moyens de lutter contre le changement climatique<sup>[253]</sup>.

Le CESRE rappelle aussi qu'une agriculture réorientée et adaptée pourrait, selon divers spécialistes et ONG, aussi contribuer à tamponner ou freiner les effets du réchauffement (*Cool farming*)<sup>[254]</sup>.

Le comité ne cite pas les **agrocarburants** comme une solution, citant le climatologue **Paul Josef Crutzen** selon qui les émissions de protoxyde d'azote induites par la culture et production de biodiesel, suffisent, dans certaines conditions à faire que le méthylester de colza puisse avoir des effets climatiques pires que ceux du diesel fait avec du pétrole fossile<sup>[255]</sup>. Le comité<sup>[256]</sup>, pose aussi la question des fumures traditionnelles et se demande « si l'utilisation intégrale des plantes, telle qu'elle est prévue dans le cadre des biocarburants de la deuxième génération, ne risque pas de porter atteinte aux objectifs fixés en matière de développement de la couche d'humus », c'est-à-dire de contribuer à encore épuiser la matière organique des sols. Le comité repose la question de l'écobilan des biocarburants en citant une étude comparative, de l'Empa<sup>[257]</sup> qui a conclu que pour parcourir 10 000 km une automobile moyenne (Volkswagen Golf) nécessitait, avec les rendements observés en Suisse, une surface au sol de 5 265 m<sup>2</sup> de colza (biodiesel) contre 37 m<sup>2</sup> de panneaux solaires (soit 134 fois moins).

Des études sont menées de façon à adapter les cultures au réchauffement climatique, visant par exemple à sélectionner des variétés qui se développent plus précocement dans l'année, ou qui résistent mieux à des températures plus élevées. Une difficulté réside dans le fait de combiner au sein d'une même espèce des mécanismes d'adaptation à des contraintes multiples. Une autre difficulté se porte sur les espèces plantées pour plusieurs décennies. Le choix des espèces ou de leur lieu de plantation doit alors reposer sur des modélisations encore incertaines du climat futur<sup>[101]</sup>.

## 6.4 Forêt, sylviculture, agrosylviculture

Les **forêts tropicales** sont vulnérables aux sécheresses, cyclones et incendies ; pour les rendre plus résilientes au changement climatique, il faudrait un effort coordonné et multi-niveau pour mieux utiliser les outils de conservation, avec notamment l'expansion des aires protégées, le contrôle des incendies, et l'application de la REDD (réduction des émissions de la déforestation et de la dégradation forestière, outil destiné à protéger le carbone forestier mais auquel il manque des mécanismes explicites d'amélioration de la résilience de la forêt)<sup>[258]</sup>.

En Amérique du Nord, Thomas Veblen<sup>[259]</sup>, professeur de géographie à l'Université du Colorado, coauteur avec l'Institut de géophysique américain, a étudié des parcelles forestières de l'ouest des États-Unis sur les périodes 1955/1994 et 1998/2007. En trente ans, avec peut être

d'autres causes, 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). Le manque de neige a induit un déficit hydrique et un allongement des sècheresses estivales, avec multiplication des incendies, ce qui laisse craindre des impacts en cascade sur la faune et les écosystèmes.

La mortalité accrue touche tant feuillus que conifères, de toutes tailles et essences et à toutes les altitudes. Dans le nord-ouest américain et le sud de la Colombie-Britannique (Canada), le taux de mortalité dans les vieilles forêts de conifères a même doublé en 17 ans (c'est une fois et demie plus rapide que la progression du taux de mortalité des arbres des futaies californiennes où ce taux a été multiplié par deux en 25 ans). L'accélération de la mortalité a été moindre dans les forêts de l'ouest ne bordant pas le Pacifique (dans le Colorado et l'Arizona), mais « un doublement de ce taux de mortalité finira par réduire de moitié l'âge moyen des arbres des futaies, entraînant une diminution de leur taille moyenne », estime T. Veblen. Il craint aussi une moindre fixation du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. Il appelle à « de nouvelles politiques permettant de réduire la vulnérabilité des forêts et des populations », dont en limitant l'urbanisation résidentielles dans les zones vulnérables.

En France, selon l'INRA, le réchauffement devrait aussi affecter les forêts ; plusieurs essences, dont le hêtre (très sensible au manque d'eau<sup>[260]</sup>) ne survivront pas dans la moitié sud du pays<sup>[261]</sup>, et plusieurs ravageurs des arbres pourraient continuer à remonter vers le nord.

Une étude de 2008 a montré que la flore montagnarde (et une partie de la faune, dont des **parasites** tels que les **tiques**) répondait déjà au réchauffement en migrant en altitude (65 mètres/an en moyenne depuis les années 1980), mais avec impossibilité en moyenne montagne pour certaines plantes de monter plus haut.

En outre, les surfaces disponibles se réduisent quand on se rapproche des sommets soumettant les espèces

à une concurrence plus aiguë.

Des modifications adaptatives **phénologiques** sont aussi observées, mais qui apparaissent à des rythmes différents selon les capacités adaptatives des espèces.

Contrairement à ce qu'on a d'abord cru ou espéré, les forêts de **plaine** ne sont pas épargnées ; Comme la plupart des écosystèmes terrestres, elles subissent des changements latitudinaux et altitudinaux en réponse au forçage climatique. Une étude récente (2011<sup>[262]</sup>) basée sur l'observation des assemblages de plantes (observés en **plaine** et en **montagne** via 76 634 inventaires effectués sur une période de 43 ans en France, de 1965 à 2008). Les auteurs concluent

qu'en plaine, les espèces ont en fait encore moins de possibilité d'échapper au réchauffement, qu'en montagne, d'autant que les forêts de plaines sont en France souvent très **fragmentées** par des routes (depuis l'époque de Louis XIV parfois), ce qui les rend plus vulnérables.

En montagne (500 à 2 600 m d'altitude), la remonte progressive des communautés végétales typiques de climats frais ou froids (remplacée par des espèces plus **thermophiles**) leur a permis de « *compenser* » 0,54 °C sur les 1,07 °C d'augmentation moyenne de température pour la période étudiée. Par contre en plaine, la compensation n'a été que de 0,02 °C pour un réchauffement similaire (1,11 °C)<sup>[262]</sup>. Ceci démontre une perte d'adéquation entre la flore forestière de plaine et le climat, qui en 2008 était 3,1 fois plus grave en plaine qu'en montagne. Ceci s'expliquerait par le fait que les espèces de plaines sont théoriquement plus adaptées aux températures chaudes mais en réalité bien plus soumises aux pollutions, au dérangement, à la fragmentation à la proximité de routes, habitations, villes, agriculture intensive qu'en montagne<sup>[262]</sup>. Or ces **facteurs de stress** écologique sont aussi autant d'obstacles aux migrations de **propagules**, d'espèces ou de **biocénoses** forestières. Enfin, les grands massifs forestiers montagneux sont souvent plus vastes et mieux interconnectés ou plus proches les uns des autres que les massifs de plaines, notamment dans les zones d'agriculture intensive qui abritent les sols les plus riches et donc les plus cultivés. Là, le vent ou la **zoochorie** peuvent ne plus suffire à assurer des migrations assez rapides pour la pérennité des éco-systèmes forestiers de plaine. Les désynchronisation entre **chorologie**, **phénologie**, **chronobiologie** et nouveaux climats qui augmentent 3,1 fois plus vite en forêt de plaine qu'en forêt de montagne<sup>[262]</sup> sont une source potentielle supplémentaire d'**extinctions** ou **régression d'espèces** et de **biodiversité**<sup>[262]</sup>.

Enfin, d'une génération à l'autre, les espèces de forêt de plaines doivent parcourir une distance croissante pour retrouver un climat favorable à leur développement<sup>[262]</sup>. Elles doivent en montagne de migrer (en moyenne) sur 1,1 km, vers les sommets surtout, pour retrouver un environnement thermohygrométrique proche de celui qui précédait ce réchauffement climatique<sup>[262]</sup>. En Forêt de plaine, la distance à parcourir pour ce faire est environ trente fois plus importante (35,6 km en moyenne)<sup>[262]</sup>. Certaines espèces ont de faibles distances de dispersion. Et dans les meilleurs cas, elles ne dépassent pas quelques centaines de mètres par an<sup>[262]</sup>. Les herbacées forestières semblent donc ne pas pouvoir suffisamment compenser par leurs potentialités naturelles de déplacement la hausse de température observée en plaine<sup>[262]</sup>.

répartition des agents pathogènes susceptibles de s'attaquer aux arbres. On a ainsi assisté à une expansion du **dendroctone du pin** d'Ouest en Est dans le Nord du continent américain, entraînant le dépérissement des pins et facilitant la propagation des incendies. Le cas de la chenille processionnaire en France a été cité **plus haut**. On peut également citer la **maladie de l'encre** du chêne, la **maladie des bandes rouges** du pin laricio. À l'inverse, la hausse des températures en été freine la propagation de la **chalarose** du frêne, en Slovénie et en Italie<sup>[263]</sup>.

## 6.5 Accès à l'océan Arctique

Une diminution des glaces polaires arctiques a ouvert de nouvelles routes commerciales pour les navires<sup>[264]</sup>, et rendrait accessibles des ressources sous-marines de **pétrole** ou de matières premières, mais avec des conséquences néfastes sur nombre d'espèces, comme le plancton ou les poissons à haute valeur commerciale.

L'accès à ces matières premières en des zones désormais accessibles risque d'être source de conflit entre pays côtiers de l'océan Arctique<sup>[d 5]</sup>. Ainsi, les États-Unis et le Canada ont-ils protesté lorsque, le 2 août 2007, la Russie planta son drapeau au fond de l'océan sous le **pôle Nord**.

## 6.6 Économie

Le rapport établi par **Nicholas Stern**, économiste anglais, estime que le réchauffement climatique entraînerait un coût économique de 5 500 milliards d'euros<sup>[265]</sup> 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* (WMF, *Fonds mondial pour les monuments*) a introduit les modifications climatiques dans la liste des menaces pour cent 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.

Le rapport du réassureur **Munich Re** du 17 octobre 2012 (sur la période 1980 à 2011) estime que c'est l'Amérique du Nord qui a subi l'aggravation la plus forte de « *pertes financières dues à des événements liés à la météo* », avec plus de 30 000 morts et 1 060 milliards de dollars (820 milliards d'euros) induits par la gestion et réparation des catastrophes climatiques. Ce même rapport a estimé que le nombre d'événements extrêmes a quintuplé dans le monde (et doublé en Europe).

En 2015, les économistes ne se risquent plus à donner des chiffres, mais jugent le coût potentiellement infini. **Henri de Castries**, président d'Axa, a déclaré en mai 2015, lors du Business Summit for Climate : « Un monde à +2 °C pourrait encore être assurable, un monde à +4 °C ne le serait certainement plus ». Selon un rapport de la Banque mondiale de 2013, les pertes et dommages annuels liés à



des événements climatiques sont passés de 50 milliards \$ dans les années 1980, à près de 200 milliards au cours de la dernière décennie<sup>[266]</sup>.

## 6.7 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 »<sup>[c 2]</sup> ou l'émergence ou réémergence de **maladies infectieuses**<sup>[267]</sup> et **vectorielles**. Les changements climatiques pourront modifier la distribution géographique de nombreuses maladies infectieuses<sup>[a 9]</sup>. 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. On constate également que les moustiques et les maladies qu'ils transmettent ont gagné en altitude<sup>[d 6]</sup>. La fréquence de la **maladie de Lyme** augmente, ainsi que son extension géographique, de manière corrélée à l'augmentation de l'**aire de répartition** de son principal vecteur connu, la **tique**<sup>[268]</sup> due à une bactérie **spirochète**.

En **climat tempéré**, un réchauffement global réduirait le nombre de morts par le froid ou les maladies respiratoires, mais augmenterait la surmortalité estivale lors des canicules.

Il est difficile de savoir quel sera le bilan global, et si une diminution de l'espérance de vie en découlera ou non<sup>[d 7]</sup>.

L'**Institut de veille sanitaire** (InVS) a évalué les principaux risques pour la France métropolitaine, et proposé des voies d'adaptations possibles, pour la **veille sanitaire** et la recherche<sup>[269]</sup> et a publié fin 2010 une *Note de position*<sup>[267]</sup> sur ce thème.

## 6.8 Déstabilisation géopolitique mondiale

### 6.8.1 Risques accrus de guerres

Selon un rapport de 2003 commandé par le département de la Défense des États-Unis<sup>[270]</sup> 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, qui bouleverseraient les rapports **géopolitiques** entre les États, et augmenteraient les risques de guerre civile<sup>[271]</sup>.

Le réchauffement climatique et son influence sur les changements environnementaux, couplés à des facteurs politiques ou économiques, sont pris en compte dans l'étude<sup>[272],[273]</sup> d'éventuelles **migrations forcées de population**.

Le 3 juin 2009, les Nations unies ont adopté une résolution sur « Les Changements climatiques et leurs répercussions éventuelles sur la sécurité »<sup>[274]</sup>.

Les militaires occidentaux s'intéressent aux conséquences des changements climatiques. Ils sont dans l'un des rares secteurs dont le champ de vision stratégique est de l'ordre de trente à cinquante ans. À leurs yeux, la crise écologique conduira à une aggravation des catastrophes. Les institutions en place en seront fragilisées, en particulier dans les pays en développement. Certains États déjà faibles seront incapables d'assurer la stabilité sociale et économique. Les réseaux « terroristes » pourront profiter du vide du pouvoir et du désespoir des populations pour y prospérer. L'Union européenne sera amenée à intervenir militairement dans son environnement proche (bassin méditerranéen) ou dans des zones d'intérêt stratégique telles que le **Proche et Moyen-Orient** ou l'Arctique<sup>[275]</sup>.

**Barack Obama** affirmait en mai 2015 :

« Le changement climatique augmente les risques d'instabilité et de conflits. Aucune nation n'est épargnée. »

Le changement climatique fait entre 20 et 30 millions de déplacés ou réfugiés chaque année. L'amiral David Titley, conseiller des agences de sécurité américaines sur le climat, explique que la menace climatique pèse autant, si ce n'est plus, sur la sécurité intérieure des États-Unis que la menace terroriste. La modification des régimes pluviométriques et les sécheresses saisonnières au Sahel, combinées à d'autres facteurs sociaux, économiques et politiques, ont poussé les peuples pastoraux à se mettre à l'agriculture ou à migrer vers le sud ou les côtes, accroissant la compétition pour l'eau et les terres arables avec les communautés de fermiers ou de pêcheurs. La guerre civile au **Darfour** (ouest du Soudan) ou la prolifération du mouvement terroriste **Boko Haram** au Nigeria ont été exacerbées par les conséquences du changement climatique sur l'accès aux ressources. Entre 2006 et 2011, la **Syrie** a connu la pire sécheresse jamais enregistrée de son histoire, attribuée au changement climatique ; les éleveurs ont vu mourir 85 % de leur cheptel et la production agricole s'est effondrée, affectant des millions d'habitants, qui ont dû quitter les campagnes pour vivre misérablement dans les villes et leurs périphéries, déstabilisant des zones déjà sous tension, d'où ont précisément débuté, en mars 2011, les premières manifestations contre le régime de **Bachar el-Assad**<sup>[276]</sup>.

Le politologue **Bruno Tertrais** affirme que la thèse d'un réchauffement climatique provocateur de guerres est mal démontrée : selon lui, aujourd'hui les États ne se battraient

plus pour l'accès aux ressources, qui seraient devenues en général abondantes, mais pour leur gestion ; même pour l'eau et la guerre en Syrie, par exemple, cette guerre a commencé alors que la Syrie connaissait des excédents de blé, facilement distribuables à ceux qui en aurait eu besoin : ce ne serait donc pas la rareté de la ressource qui suscite la guerre, mais la gestion d'une ressource en fait disponible<sup>[277]</sup>.

### 6.8.2 Des conflits inter-étatiques

En août 2012, John Kerry, devenu depuis lors secrétaire d'État, a tenu un long discours au Sénat sur les risques de conflits liés au changement climatique. Face à des conservateurs républicains niant la réalité scientifique du réchauffement climatique, John Kerry démontrait que la diminution du débit du fleuve Indus pouvait amener le gouvernement indien à préserver ses ressources en eau par la construction de barrages. Son voisin, le Pakistan se verrait ainsi privé d'un important accès à l'eau ; John Kerry estime qu'au vu de l'état de ses forces armées traditionnelles, le Pakistan ne se risquerait pas à un conflit conventionnel pour préserver ses ressources en eau, mais opterait sans doute pour la menace nucléaire et, cas échéant, à son exécution. La perspective de guerres liées au changement climatique a également été évoquée par les agences nationales, en particulier la CIA, et par le Pentagone qui, dans son rapport 2010 sur la Défense, identifie le changement climatique comme une des causes essentielles dans la possible multiplication des conflits<sup>[278]</sup>.

### 6.8.3 Interactions avec la crise de 2008-2009

En 2009, l'agence internationale de l'énergie (AIE) constate<sup>[279],[280]</sup> - en raison de la crise - une baisse de la consommation d'énergie, mais aussi une baisse des investissements en économies d'énergie (un cinquième en moins en 2009). L'AIE redoute une nouvelle hausse induite par une éventuelle reprise de l'économie. Il faudrait selon cette agence investir 10 500 milliards de dollars d'ici 2030 pour « décarboner » l'économie afin de limiter l'impact sur le climat (c'est le scénario 450 ppm de CO<sub>2</sub> à ne pas dépasser pour que le réchauffement ne dépasse pas 2 °C en 2100). Avec la poursuite du scénario tendanciel (+1,5 % par an de consommation d'énergie de 2007 à 2030, soit +40 % au total), c'est une hausse moyenne de 6 °C qui pourrait être observée à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle<sup>[279]</sup>.

## 7 Réponses des États, collectivités, entreprises, citoyens face à la menace climatique

La réalité du risque et du phénomène fait maintenant presque consensus. L'auteur du rapport Stern, Nicholas



Centrale thermique et éoliennes. Peine, Basse-Saxe, Allemagne.

Stern, en 2006, reconnaissait lui-même avoir sous-estimé l'ampleur du problème<sup>[281],[282]</sup> : « La croissance des émissions de CO<sub>2</sub> est beaucoup plus forte que prévu, les capacités d'absorption de la Planète se réduisent et la vitesse des changements climatiques est plus rapide qu'envisagé. »

Face au problème, trois approches se complètent : lutte contre les émissions de gaz à effet de serre, puits de carbone, et adaptation.

L'effort international a d'abord visé à réduire le CO<sub>2</sub> (gaz à longue durée de vie), alors qu'une action urgente sur les polluants à courte durée (dont le méthane, l'ozone troposphérique et le carbone noir) pourrait mieux réduire le réchauffement de l'Arctique<sup>[283]</sup>. La réduction du CO<sub>2</sub> est aussi importante, mais ses effets se feront sentir à plus long terme (après 2100).

La prospective éclaire les gouvernements, entreprises et individus, qui, grâce à la connaissance des tendances générales, peuvent prendre des décisions politiques et stratégiques plus pertinentes pour limiter les impacts du changement climatique. Les rapports du Giec sont la principale base d'information et discussions, dont dans le cadre du protocole de Kyoto et de ses suites (*Ba-Ii*, décembre 2007, ...). L'augmentation prévue de 1,5 à 7 °C pour le siècle à venir, pourrait être moindre si des mesures environnementales sévères étaient prises ou qu'un réel compétiteur aux énergies fossiles émergeait. En dépit des succès dans le secteur des énergies renouvelables, du nucléaire et surtout d'un changement de mode de vie et de consommation, la recherche n'a pas encore offert d'alternative à court terme aux carburants fossiles. Énergie éolienne, énergie hydroélectrique, énergie géothermique, énergie solaire, méthanisation, énergie hydrolienne, pile à combustible, énergie nucléaire, stockage géologique du dioxyde de carbone sont néanmoins en rapide développement. Le gisement d'économies d'énergie — les négawatts — est encore considérable. Pour des scientifiques s'intéressant au domaine, il n'est pas possible de répondre aux objectifs de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> sans passer par un développement de l'énergie nucléaire<sup>[284],[285]</sup>.

La société civile propose aussi des réponses, notamment via les campagnes et actions de **lobbying** des **ONG** et associations locales. En France, les **ONG** de protection de l'environnement et les **associations** concernées se sont regroupées au sein du **Réseau Action Climat** (RAC).

Le réchauffement climatique pourrait se traduire par un temps plus instable (vagues de chaleur ou de froid, **inondations** ou **sécheresse**, **tempêtes** et **cyclones**)<sup>[286]</sup>. De plus, d'après le **GIEC**, la capacité à s'adapter naturellement de nombreux **écosystèmes** sera probablement dépassée, causant massivement l'**extinction des espèces**, par la combinaison<sup>[287]</sup> sans précédent de :

changements climatiques provoquant : **incendies de forêts**, augmentation probable de l'intensité des **cyclones**, **acidification des océans**, déplacement des espèces, fonte des glaciers et calottes polaires, impacts économiques et géopolitiques majeurs ;

la pression humaine amplifiée par la **surpopulation** : **régression et dégradation des sols** (déforestation, barrages, nouvelles cultures et **organismes génétiquement modifiés**), **pollution**, **surexploitation** des ressources.

## 7.1 Protocole de Kyoto

Article détaillé : **Protocole de Kyoto**.

La convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques est signée en 1992 lors du sommet de la Terre à Rio de Janeiro. Elle entre en vigueur le 21 mars 1994. Les signataires de cette convention se fixent comme objectif de stabiliser la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère à « un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du cli-mat »<sup>[288]</sup>. Les pays développés ont comme objectif de ramener leurs émissions de gaz à effet de serre en 2010 au niveau de 1990<sup>[289]</sup>, cet objectif n'étant pas légalement contraignant<sup>[290]</sup>.

En 1997, les signataires de la convention cadre adoptent le protocole de Kyoto, dont la nouveauté consiste à établir des engagements de réduction contraignants pour les pays dits de l'annexe B (pays industrialisés et en transition) et à mettre en place des mécanismes dit « de flexibilité » (marché de permis, mise en œuvre conjointe et mécanisme de développement propre) pour remplir cet engagement<sup>[291]</sup>. Le protocole de Kyoto entre en vigueur le 16 février 2005 à la suite de sa ratification par la **Russie**<sup>[292]</sup>.

En juillet 2006, le protocole de Kyoto est maintenant ratifié par 156 États<sup>[293]</sup>. Les États-Unis et l'Australie (voir ci-dessous) ne sont pas signataires. Les **États-Unis** sont pourtant le deuxième émetteur mondial de gaz à effet de serre avec environ 20 % des émissions de gaz à effet de serre<sup>[294]</sup>. Les pays de l'annexe B se sont engagés à réduire leurs émissions de six gaz à effet de serre (**CO<sub>2</sub>**,

**CH<sub>4</sub>**, **N<sub>2</sub>O**, **SF<sub>6</sub>**, **HFC**, **PFC**) de 5,2 % en 2008-2012 par rapport au niveau de 1990.

Après la victoire des travaillistes aux élections législatives australiennes du 24 novembre 2007, le nouveau premier ministre Kevin Rudd annonce avoir ratifié le protocole de Kyoto<sup>[295]</sup>.

Les pays en voie de développement, y compris de gros contributeurs aux émissions comme l'**Inde**, 5<sup>e</sup> émet-teur mondial, et la Chine, 1<sup>re</sup> émettrice<sup>[294]</sup>, n'ont pas d'objectifs de réduction car ils l'avaient refusé au motif que :

leurs niveaux d'émissions ramenés au nombre d'habitants étaient faibles ;

le stock de gaz à effet de serre d'origine anthropique présent dans l'atmosphère résulte pour l'essentiel des émissions des pays développés depuis le **Modèle: S-XIX** ;

il serait injuste d'imposer des privations draconiennes à des populations à faible niveau de vie qui aspirent à rejoindre celui des pays développés.

Ces arguments, fort valables à la fin des années 1990, le sont beaucoup moins 15 ans plus tard, en particulier pour la Chine dont les émissions par habitant ont dépassé celles de la France.

## 7.2 Union européenne

Article détaillé : **Politique européenne de développement durable**.

L'Union européenne a lancé en 2005 le système communautaire d'échange de quotas d'émission (1<sup>er</sup> marché de « permis contraignant » au niveau mondial). En octobre 2006, le Comité économique et social européen (CESE) active son Observatoire du développement durable (ODD)<sup>[296]</sup>. La Commission européenne publie le 29 juin 2007 un « Livre vert » sur l'adaptation au changement climatique de l'Union européenne<sup>[297]</sup>. Il prône à la fois l'adaptation et l'atténuation, l'amélioration des connaissances (y compris sur les besoins et coûts d'adaptation - Cf. 7<sup>e</sup> programme-cadre de recherche de l'UE (2007-2013)), l'élaboration de stratégies et d'échanges de bonnes pratiques entre pays, de nouveaux produits assurantiels (« dérivés climatiques », « obligations catastrophe », l'adaptation des marchés européens des assurances (cf. directive « Solvabilité II ») et des fonds « catastrophes naturelles » ainsi que des politiques agriculture et pêche, avec le développement d'une solidarité interne à l'UE et avec les pays extérieurs touchés. Cinquante millions d'euros sont réservés par la Commission pour 2007-2010 pour favoriser le dialogue et l'aide à des mesures d'atténuation et d'adaptation ciblées, dans les pays pauvres.



La Directive sur le système européen d'échange de droits d'émission devait être modifiée en 2008, pour inclure notamment les émissions de l'aviation. Cela fut refusé par le Conseil mais devrait être tout de même inclus d'ici 2012<sup>[298]</sup>.

La proposition sur les limites d'émission des voitures (130 g de CO<sub>2</sub> par km<sup>[299]</sup>) fut validée par le Parlement européen le second semestre 2008<sup>[300]</sup>. De nouvelles mesures doivent être prises afin de ramener ce taux d'émission à 120 g de CO<sub>2</sub> par km.

La France a publié une « Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique » en juillet 2007<sup>[N 7]</sup> et envisageait une gouvernance adaptée<sup>[301]</sup>, notamment dans le cadre du Grenelle Environnement. En juillet 2011, la France a publié le premier « Plan national d'adaptation au changement climatique ». Il prévoit 80 actions débouchant sur 230 mesures concrètes dont le coût est estimé à 171 millions d'euros<sup>[302]</sup>. L'INRA a créé un métaprogramme d'adaptation au changement climatique de l'agriculture et de la forêt (ACCAF)<sup>[303]</sup>.

L'UE disposait en 2006 de 66 % de la puissance mondiale installée en éolien terrestre et offshore, devant les États-Unis (16 %), l'Inde (8 %) et le Japon (2 %) et d'un tiers<sup>[304]</sup> du parc nucléaire mondial. Cela la rend moins dépendante des énergies fossiles que la Chine et les États-Unis.

L'UE encourage aussi tous les acteurs à préparer leur adaptation au changement climatique<sup>[305]</sup>.

Régions et collectivités d'Europe et des États-Unis pourraient coopérer pour le climat : Mercedes Bresso (la présidente du Comité des Régions) et Elisabeth B. Kautz (Présidente de la Conférence des maires américains ; organisation officielle des maires des quelque 1 200 villes de plus de 30 000 habitants que comptent les États-Unis, qui est une sorte d'équivalent de la Convention des maires européenne, qui rassemble 2 000 villes en 2010, dont 25 capitales, et 100 régions), ont signé le 5 mai 2010 un « Mémoire d'entente et de coopération » pour lutter contre le changement climatique<sup>[306]</sup>.

### 7.3 Engagements conjoints des États-Unis et de la Chine en 2014

Pour la première fois, les États-Unis et la Chine ont annoncé le 12 novembre 2014, en marge du Forum Asie-Pacifique (APEC), s'être fixé des objectifs concernant leurs émissions de gaz à effet de serre. Dans la perspective de la réunion de Paris, qui doit permettre à la communauté internationale de trouver en 2015 un terrain d'entente afin de limiter le réchauffement climatique à une hausse de 2 degrés Celsius, Pékin s'est engagé à atteindre son pic d'émissions de gaz à effet de serre « autour de 2030 », ajoutant qu'elle « essaierait » d'y arriver plus tôt. C'est la première fois que la deuxième puissance économique mondiale, qui est le premier émetteur mondial de gaz à

effet de serre, se fixe un objectif relatif à son pic d'émissions. Les États-Unis s'engagent de leur côté à réduire de 26 % à 28 % leurs émissions en 2025 par rapport au niveau de 2005. De fait, aucun accord mondial sur le climat ne pourra se faire sans ces deux pays, dont les émissions représentent 45 % du total planétaire<sup>[307]</sup>.

### 7.4 Accord mondial de 2016 pour l'élimination des hydrofluorocarbures

L'accord mondial pour l'élimination des hydrofluorocarbures (HFC), signé à Kigali le 15 octobre 2016 par les 197 pays qui sont partie prenante au protocole de Montréal de 1987 sur la protection de la couche d'ozone, fixe un calendrier pour l'élimination progressive des utilisations de ce gaz dont le pouvoir réchauffant est 14 000 fois supérieure à celle du CO<sub>2</sub>, si bien que 9 à 19 % des émissions de GES (en équivalent CO<sub>2</sub>) pourraient lui être imputées d'ici à 2050 ; leur élimination progressive permettrait d'éviter jusqu'à 0,1 degré de réchauffement des températures d'ici à cette date et 0,5 degré d'ici à 2100. Cet accord est plus engageant que l'accord de Paris sur le climat, puisqu'il prévoit des sanctions en cas de non-respect des engagements. Les pays développés devront réduire leur consommation de 10 % d'ici à 2019 par rapport aux niveaux de 2011-2013, puis atteindre 85 % de baisse d'ici à 2036 ; les pays en voie de développement, dont la Chine, premier producteur mondial de HFC, et les pays africains, entameront leur transition, un peu plus tard, en 2024 et réduiront leur consommation de 80 % d'ici à 2045. Enfin, un troisième groupe de pays incluant l'Inde, le Pakistan, l'Iran, l'Irak et les pays du Golfe commencera à s'exécuter en 2028 pour atteindre 85 % de baisse en 2047<sup>[308],[309]</sup>.

### 7.5 États-Unis

Article détaillé : Politique environnementale des États-Unis.

Deuxième pays pollueur derrière la Chine<sup>[310]</sup>, les États-Unis via l'administration de George W. Bush refusent de présenter de nouveau en juillet 2005 le traité pour ratification considérant celui-ci comme un frein pour l'économie nationale et le fait que le combat contre le réchauffement climatique doit se faire non pas avec une simple réduction des gaz à effet de serre, mais par une meilleure gestion de leur émission. De grandes entreprises pétrolières comme Exxon semblent avoir influencé significativement cette non adhésion des États-Unis<sup>[311]</sup>.

De nombreux États, telle la Californie, ont néanmoins pris des mesures fédérales de restriction sur les gaz à effet de serre.

### 7.5.1 Lutte contre le réchauffement climatique aux États-Unis



Éoliennes au Texas.

Depuis 2001, les États du Texas, de la Californie, du New Hampshire, ont instauré un dispositif de contrôle des émissions de gaz pour différents secteurs industriels et énergétiques. Le dispositif adopté par la Californie, qui s'applique depuis 2009, prévoit de réduire les émissions de gaz polluants de 22 % en moyenne d'ici 2012 et de 30 % d'ici 2016.

En outre, le principe des marchés des permis d'émission consiste à accorder aux industriels « pollueurs » gratuitement, à prix fixe ou aux enchères, des quotas d'émissions de CO<sub>2</sub>, que ceux-ci peuvent ensuite s'échanger. Chaque émetteur de CO<sub>2</sub> doit alors vérifier qu'il détient autant de permis d'émission que ce qu'il va émettre. Dans le cas contraire, il se trouve contraint soit de diminuer ses émissions, soit d'acheter des permis. Inversement, si ses efforts de maîtrise des émissions lui permettent de posséder un excédent de permis, il peut les vendre.

De tels procédés ont été réalisés pour réduire les pluies acides aux États-Unis et ont connu des succès (programme « Acid rain »). Ce système des marchés de permis d'émission fait partie du dispositif du protocole de Kyoto qui n'était pas ratifié par les États-Unis en juillet 2006<sup>[312]</sup>.

En 2004, le sénateur républicain John McCain et le démocrate Joseph Lieberman déposent un projet de loi visant à limiter les rejets dans l'atmosphère ; soutenu par les grandes entreprises Alcoa, DuPont de Nemours et American Electric Power, il n'est pourtant pas adopté.

Les États-Unis financent avec la Chine, le Japon, la Russie

et l'UE, le projet ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*), projet de recherche sur la fusion nucléaire contrôlée, mené à Cadarache (Sud de la France). Toutefois, la production nette d'énergie par fusion nucléaire chaude reste à l'état d'espoir lointain : les prévisions les plus optimistes des partisans du projet parlent de plusieurs dizaines d'années.

Le 8 juillet 2008, George Bush signe un texte engageant les États-Unis à réduire de moitié des émissions des GES d'ici à 2050, à Toyako (Japon), dans le cadre d'une réunion du G8.

Début décembre 2009, l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA) rend un rapport décrétant que les émissions de gaz à effet de serre jugés responsables du réchauffement climatique représentent une menace pour la santé publique<sup>[313]</sup>.

En juillet 2016, l'état de New York a adopté une réglementation sur l'énergie propre (*Clean Energy Standard*) qui garantit le soutien financier de l'état aussi bien au nucléaire qu'aux énergies renouvelables ; en effet, le nucléaire assure 61 % de la production d'électricité décarbonée de l'état, et ce dernier ne pourrait pas atteindre ses objectifs de réduction de 40 % des émissions de GES d'ici 2030 si les centrales nucléaires fermaient pour cause de rentabilité insuffisante face à la concurrence des centrales au gaz ; 3 370 MW de réacteurs nucléaires étaient menacés d'ici fin 2017<sup>[314],[315]</sup>.

## 7.6 Lutte contre le réchauffement climatique en Chine

La Chine, pour lutter contre le réchauffement climatique, investit dans plusieurs domaines de pointe :

**l'électricité nucléaire** : en mars 2014, la Chine exploite 21 réacteurs nucléaires opérationnels répartis sur sept sites nucléaires et compte 28 réacteurs nucléaires en construction<sup>[316]</sup>, dont deux réacteurs pressurisés européens (EPR) ;

**les éoliennes** : la Chine est depuis 2010 au 1<sup>er</sup> rang mondial pour sa puissance installée éolienne<sup>[317]</sup> ; elle était en 2012 au 2<sup>e</sup> rang mondial pour la production d'électricité éolienne et l'éolien représentait 1,9 % de sa production d'électricité en 2011 et 2,4 % en 2012<sup>[318]</sup> ;

**l'énergie photovoltaïque** : la Chine s'est placée largement en tête du marché mondial en 2013, avec 11,8 GW installés en photovoltaïque, se hissant au 2<sup>e</sup> rang mondial pour sa puissance installée : 18,3 GW fin 2013, derrière l'Allemagne<sup>[319]</sup> ;

**le solaire thermique** (chauffe-eau solaire, etc.) : la Chine est de très loin le 1<sup>er</sup> pays au monde pour la puissance thermique installée en capteurs thermiques, avec 67 % du total mondial en 2012<sup>[320]</sup> ;

le captage de CO<sub>2</sub> dans les centrales électriques à charbon : la Chine vend désormais sa technologie aux États-Unis<sup>[321]</sup> ; la promotion subventionnée par l'État chinois des ampoules à basse consommation d'électricité<sup>[322]</sup>.

la voiture électrique : L'objectif de ventes de véhicules hybrides et électriques a été revu à la hausse : 5 millions d'unités à l'horizon 2020, avec un temps intermédiaire de 500 000 immatriculations en 2015. Le gouvernement prévoit des allocations budgétaires pour soutenir la filière de l'électrification, promettant une enveloppe de 12 milliards d'euros de subventions pour les entreprises, notamment dans le domaine des infrastructures. Le client final n'est pas oublié et les autorités chinoises évoquent un dispositif de prime à l'achat renforcé<sup>[323]</sup>.

## 7.7 Stratégies de lutte contre le réchauffement climatique

Une note publiée en 2015 par la Banque mondiale synthétise les grandes lignes des choix stratégiques nécessaires, à partir des travaux du GIEC, en soulignant que pour atteindre l'objectif de limitation du réchauffement climatique au-dessous de 2 °C, les émissions de gaz à effet de serre doivent être réduites à zéro avant 2100 ; tant que nous émettrons plus que nous capturerons ou compensons par des puits de carbone tels que les forêts, la concentration de CO<sub>2</sub> augmentera et la température s'élèvera. Les trajectoires techniquement réalisables pour atteindre la neutralité carbone reposent sur quatre piliers<sup>[324]</sup> :

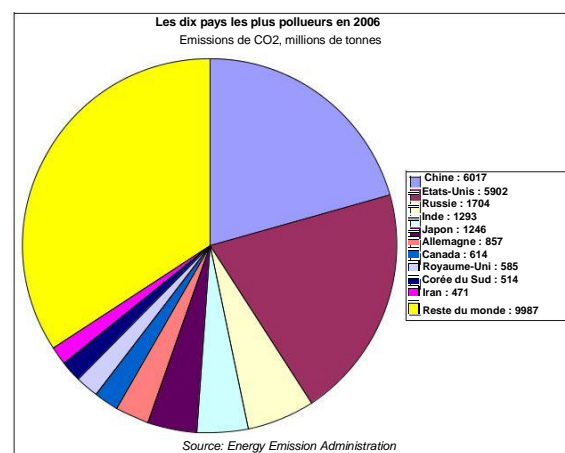
1. ramener l'intensité carbone de la production mondiale d'électricité à un niveau proche de zéro dès 2050, en particulier dans les pays à hauts revenus et dans les pays émergents, en remplaçant les énergies fossiles par les énergies renouvelables et le nucléaire ou en neutralisant leurs émissions par la capture et séquestration du CO<sub>2</sub> (CCS) ; la biomasse couplée avec la CCS permet même d'obtenir des émissions nettes négatives ;
2. basculer des énergies fossiles vers l'électricité à bas carbone pour réduire massivement les émissions dans les secteurs à forte intensité énergétique : transports, bâtiments, industrie ; les véhicules électriques ou hybrides rechargeables, les pompes à chaleur, les fours et chaudières électriques ont une efficacité énergétique bien supérieure à leur homologues à énergies fossiles et sont un moyen efficace pour abaisser rapidement les émissions ;
3. améliorer l'efficacité énergétique permet de réduire les émissions, faciliter le basculement vers l'électricité et réduire les coûts énergétiques, y compris dans l'agriculture (réduction des déchets par leur

utilisation énergétique, utilisation du bois dans le bâtiment, etc) et l'alimentation (basculement vers des produits à bas carbone, libération de terres) ;

4. mieux gérer les sols : les secteurs agricole et forestier devraient atteindre la neutralité carbone dès 2030, en développant les puits de carbone par la reforestation et en évoluant vers des pratiques moins émissives.

Les auteurs mettent en garde contre les choix fondés seulement sur les coûts et sur les bénéfices à court terme, qui peuvent mener à des impasses coûteuses à long terme ; par exemple, l'expansion urbaine à faible densité non planifiée, la destruction de forêts ou le choix de remplacer le charbon par le gaz plutôt que par les énergies renouvelables.

## 7.8 Nouveaux pays industrialisés contre États-Unis



Les dix premiers pays émetteurs de CO<sub>2</sub> dans le monde en 2006.

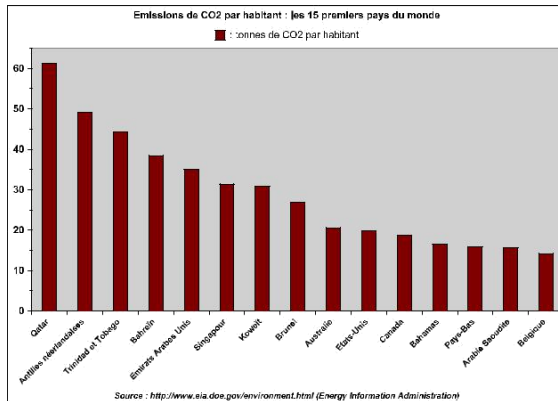
Un point de débat est de savoir à quel degré les nouveaux pays industrialisés tels que l'Inde et la Chine devraient restreindre leurs émissions de CO<sub>2</sub>. Les émissions de CO<sub>2</sub> de la Chine ont dépassé celles des États-Unis en 2007<sup>[325]</sup> alors qu'elle ne produit que 5,4 fois moins de richesses que l'Union européenne ou les États-Unis<sup>[326]</sup>, et elle n'aurait dû, en théorie, atteindre ce niveau qu'aux alentours de 2020. En 2007, la Chine est le premier producteur et consommateur de charbon, sa première source d'énergie, qui est extrêmement polluante. De plus, l'augmentation du niveau de vie accroît la demande de produits « énergivores » tels que les automobiles ou les climatisations.

La Chine a répondu qu'elle avait moins d'obligations à réduire ses émissions de CO<sub>2</sub> par habitant puisqu'elles représentent un sixième de celle des États-Unis<sup>[327]</sup>,<sup>[328]</sup>. L'Inde, également l'un des plus gros pollueurs de la planète, a présenté les mêmes affirmations, ses émissions de CO<sub>2</sub> par habitant étant près de vingt fois inférieures à



celles des États-Unis<sup>[329]</sup>. Cependant, les États-Unis ont répliqué que s'ils devaient supporter le coût des réductions de CO<sub>2</sub>, la Chine devrait faire de même<sup>[330],[331]</sup>.

## 7.9 Mesures individuelles de lutte contre le réchauffement climatique



*Classement des 15 premiers pays émetteurs de CO<sub>2</sub> dans le monde en 2006, par habitant.*

L'humanité rejette actuellement 6 Gt (gigatonne = milliard de tonnes) d'équivalent carbone par an dans l'atmosphère, soit environ une tonne par habitant. On estime que les océans en absorbent 3 Gt et qu'il faudrait donc abaisser les émissions de gaz à effet de serre de moitié pour arrêter d'enrichir l'atmosphère, ce qui représente une émission moyenne de 500 kg d'équivalent carbone par habitant. Chaque Français en émet environ deux tonnes, soit quatre fois plus qu'il ne faudrait<sup>[332]</sup>. En dehors de mesures collectives, des personnalités ont esquissé les gestes quotidiens à mettre en œuvre, dès aujourd'hui, pour limiter le réchauffement climatique comme Jean-Marc Jancovici<sup>[333]</sup> ou Al Gore<sup>[334]</sup>.

Quelques mesures relèvent des économies d'énergie, en particulier des énergies fossiles (voir efficacité énergétique dans les transports) :

éviter de prendre l'avion<sup>[335]</sup>. Un kilomètre en avion long courrier émet 60 g d'équivalent carbone par personne<sup>[336]</sup> ; un voyage intercontinental représente près des 500 kg d'équivalent carbone. *A fortiori*, pour les voyages court-courrier (100 g d'équivalent carbone par kilomètre et par personne), préférer le train ; utiliser le moins possible les véhicules automobiles (préférer la bicyclette ou les transports en commun chaque fois que possible). Une voiture émet entre 100 et 250 g d'équivalent CO<sub>2</sub> par km parcouru, soit entre 30 et 70 g d'équivalent carbone. 20 000 km par an représentent entre 600 et 1 400 kg d'équivalent carbone. Si une automobile est nécessaire, choisir le modèle le moins polluant et le plus efficace possible<sup>[337]</sup> ;

atteindre une isolation optimale des bâtiments, au mieux par le recours à l'architecture bioclimatique qui réduit au maximum les besoins de chauffage (15 kWh·m<sup>2</sup> par an, les anciennes maisons étant à 450 kWh·m<sup>2</sup> par an) et supprime le besoin de climatisation active, tout en améliorant le confort de vie.

\* investir localement sur fonds privés dans des micro centrales de production électrique provenant d'énergies renouvelables (photovoltaïque, éolien,...), dans des batteries résidentielles pour délester la consommation électrique ou dans des bornes de recharge publiques pour véhicules électriques ou hybrides rechargeables afin de favoriser l'électromobilité.<sup>[réf. nécessaire]</sup>

## 7.10 Modification du mode de vie

Les modes de vie font partie des facteurs qui pèsent sur le réchauffement climatique. Certains modes de vie sont sobres. D'autres ne le sont pas. Le Club d'Ingénierie Prospective Énergie et Environnement (CLIP)<sup>[338]</sup> a consacré le n° 21 de ses Cahiers aux *Modes de vie et empreinte car-bone*<sup>[339]</sup>. Cinq scénarios ont été étudiés. Trois scénarios font place à des modes de vie alternatifs qui favorisent l'être plutôt que l'avoir. La qualité de vie, l'importance de la vie avec les autres, le "temps pour soi", l'acquisition de connaissances remplacent le consumérisme et le productivisme. Seuls ces scénarios permettent d'approcher les objectifs du Facteur 4. L'étude préconise des actions afin de favoriser leur émergence.

## 7.11 Politiques de développement durable

Article détaillé : Développement durable.

La résolution du problème du réchauffement climatique implique de prendre en considération non seulement les paramètres qui interviennent directement dans le réchauffement, à savoir les émissions de gaz à effet de serre, mais également l'ensemble des informations environnementales, ainsi que des indicateurs sociaux et économiques, selon les principes élaborés au sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992, qui a identifié trois piliers dans le développement durable : environnement, social, et économique.

La réponse des États se fait donc aujourd'hui au travers de stratégies nationales de développement durable, celles des collectivités au travers d'agenda 21, et celles des entreprises au travers de la responsabilité sociétale des entreprises.

Le développement durable relève de programmes transversaux dans les organisations<sup>[340]</sup>. Chaque domaine est appelé à apporter une contribution à l'effort commun. L'informatique par exemple, loin d'être virtuelle ou immatérielle, apparaît comme un secteur émetteur de

gaz à effet de serre<sup>[N 8]</sup>. Selon Jean-Marc Jancovici, la dématérialisation n'a pas apporté jusqu'à présent de solution au problème du réchauffement climatique, puisqu'on constate une corrélation entre les flux d'information et les flux physiques<sup>[341]</sup>. Il est donc nécessaire que le secteur de l'informatique se fixe des objectifs en matière de développement durable. C'est ce qui a été fait avec la création en 2007, par Google et le WWF de la *Climate Savers Computing Initiative*, initiative commune à plusieurs constructeurs informatiques pour réduire de moitié la consommation d'énergie des ordinateurs d'ici 2010.

## 7.12 Ministères

Article détaillé : [Liste des ministres de l'Environnement](#).

Plusieurs États consacrent désormais explicitement un ministère à la question du réchauffement climatique, généralement sous l'étiquette « changement climatique ». Les États en question et leurs ministres respectifs, en date de février 2015, sont les suivants<sup>[342]</sup> :

## 7.13 Mouvements religieux

Articles détaillés : [Laudato si'](#) et [Œcuménisme#Sauvegarde de la Création](#).

Prenant acte de ce que le réchauffement climatique fait l'objet d'un consensus scientifique, le pape François a publié en mai 2015, en vue de la *Conférence de Paris sur le climat*, l'encyclique *Laudato si'*. Considérant le climat comme un « bien commun », il affirme que « l'humanité est appelée à prendre conscience de la nécessité de réaliser des changements de style de vie, de production et de consommation, pour combattre ce réchauffement ou, tout au moins, les causes humaines qui le provoquent ou l'accroissent ». Il souligne que « le changement climatique est un problème global aux graves répercussions environnementales, sociales, économiques, distributives ainsi que politiques, et constitue l'un des principaux défis actuels pour l'humanité. Les pires conséquences retomberont probablement au cours des prochaines décennies sur les pays en développement ». Cela pose des problèmes de *justice environnementale*, du fait que « beaucoup de pauvres vivent dans des endroits particulièrement affectés par des phénomènes liés au réchauffement »<sup>[343]</sup>. Loin de se limiter au problème du réchauffement climatique, l'encyclique aborde les dimensions environnementales, sociales et économiques dans leur ensemble, considérant la « sauvegarde de la Création » comme une problématique globale.

Le 23 juin 2003, lors d'une conférence au Monastère d'Utstein, en Norvège, le patriarche Bartholomée Ier de Constantinople a attiré l'attention sur les « racines éthiques et spirituelles des problèmes environnemen-

taux qui demandent que nous trouvions des solutions non seulement grâce à la technique, mais encore à travers un changement de la part de l'être humain, parce qu'autrement nous affronterions uniquement les symptômes »<sup>[344]</sup>.

Les chrétiens sont invités à prier pour la sauvegarde de la Création. C'est le cas pour les orthodoxes, à l'instigation du patriarche Dimitrios Ier de Constantinople depuis 1989, puis pour les catholiques, le pape François ayant institué une *journée mondiale de prière pour la sauvegarde de la Création* en 2015, choisissant la date du 1<sup>er</sup> septembre déjà retenue par les orthodoxes. Les protestants se joignent également à ces initiatives, dans le cadre du « Temps pour la création », période allant du 1<sup>er</sup> septembre au 4 octobre<sup>[345]</sup>.

Étant donné la dimension œcuménique et même inter-religieuse du problème, le *Conseil œcuménique des Églises* appelle les chrétiens et les fidèles d'autres religions à jeûner pour le climat le premier jour de chaque mois<sup>[346]</sup>.

## 8 Controverses sur le réchauffement climatique

Article détaillé : [Controverses sur le réchauffement climatique](#).

L'existence du réchauffement fait quasiment consensus au sein de la communauté scientifique et plus encore des climatologues<sup>[347],[348]</sup>. Cela n'exclut cependant pas des controverses portant sur :

- le fonctionnement du GIEC : nécessité de vérifier rigoureusement les données produites, et de prendre en compte les avis divergents ;

- la validité des conclusions du GIEC : importance du réchauffement, probabilité attribuée aux scénarios, importance des causes anthropiques, etc. ;

- les conséquences du réchauffement (accusations de sur-estimation des effets négatifs et occultation des effets positifs) ;

- les politiques à mettre en œuvre pour parer ce phénomène climatique (arbitrage des priorités entre les autres problèmes et celui du réchauffement ; arbitrage entre politiques destinées à éviter le réchauffement et politiques destinées à en compenser les effets).

Divers groupes d'intérêt (industrie, pétrole) finançant des laboratoires d'idées travaillent à produire un dissensus en noyant ces débats<sup>[349]</sup> ; lire [déni du réchauffement climatique](#) (en).

## 9 Le réchauffement climatique comme sujet de fiction

Depuis quelques années, plusieurs écrivains de science-fiction, ou même d'autres genres (comme Doris Lessing, prix Nobel de littérature 2007), ont mis le changement climatique au cœur de leur intrigue romanesque, souvent en s'appuyant sur des données scientifiques pour imaginer des futurs possibles. Par exemple :

Robert Silverberg, *Ciel brûlant de minuit*, Bantam Books, 1994 et Robert Laffont, 1995

Doris Lessing, *Mara et Dann*, Flammarion, 2001

Norman Spinrad, *Bleue comme une orange*, Flammarion, 2001

Jean-Marc Ligny, *Aqua TM*, L'Atalante, 2006

Michael Crichton, *État d'urgence*, Robert Laffont, 2006

Kim Stanley Robinson, *Les Quarante Signes de la pluie* (2006), *50° au-dessous de zéro* (2007), *60 jours et après*, Presses de la Cité, 2008

Yann Quero, *L'avenir ne sera plus ce qu'il était*, Ar-kuiris, 2010

## 10 Voir aussi

### 10.1 Bibliographie

Jacques Mistrail, *Le climat va-t-il changer le capitalisme ?*, Eyrolles, Paris, 2015 (ISBN 2-212-56243-8)

Yauram Bauman et Grady Klein, *Le changement cli-matique en BD*, Eyrolles, Paris, 2015 (ISBN 2-212-56244-6)

Amy Dahan et Stefan Aykut, *Gouverner le cli-mat ? 20 ans de négociations climatiques*, Presses de Sciences Po, 2015, 752 pages [présentation ici](#)

Rémy Prud'homme, *L'idéologie du réchauffement*, éditions du Toucan, octobre 2015

Catherine Larrère et Raphaël Larrère, *Penser et agir avec la nature*, La Découverte, 2015

Naomi Klein, *Tout peut changer : Capitalisme et changement climatique*, Actes Sud, 2015

Raphaël Stevens et Pablo Servigne, *Comment tout peut s'effondrer. Petit manuel de collapsologie à l'usage des générations présentes*, Editions du Seuil (Collection Anthropocène) 2015

Bertrand Badie et Dominique Vidal (sous la direction de), *Nouvelles guerres*, La Découverte, 2014 (ISBN 978-2-7071-8269-2)

Clive Hamilton, *Requiem pour l'espèce humaine : Faire face à la réalité du changement climatique*, Les Presses de Sciences Po, 2013 (ISBN 978-2724614015)

François Gervais, *L'innocence du carbone, L'effet de serre remis en question*, Albin Michel, 2013

Gérard Borvon, *Histoire du carbone et du CO<sub>2</sub>*, Vuibert, 2013

Catherine Jeandel et Rémy Mosseri (Eds), 2011, *Le climat à découvert, outils et méthodes en recherche climatique*, CNRS Éditions, Paris (ISBN 978-2-271-07198-9)

Jean-Marc Jancovici, *Changer le monde : Tout un programme !*, Calmann-Levy, Paris, 2011 (ISBN 978-2-7021-4214-1)

Jean-François Mouhot, *Des Esclaves énergétiques : Réflexions sur le changement climatique*, Champ Vallon, Seyssel, 2011 (ISBN 978-2-8767-3554-5)

Jean Tirole, *Politique climatique : une nouvelle architecture internationale* Rapport du Conseil d'analyse économique, 2009,

Pascal Acot, *Histoire du climat*, Perrin, 2009 (ISBN 978-2-262-03028-5)

Jean-Marc Jancovici et Alain Grandjean, *C'est maintenant ! 3 ans pour sauver le monde*, Le Seuil, 2009

Jean Jouzel, Claude Lorius, Dominique Raynaud, *Planète blanche. Les glaces, le climat et l'environnement*, O. Jacob, 2008 (ISBN 978-2-7381-1400-6)

Frédéric Durand, *Le réchauffement climatique en débats*, Ellipses, 2007 (ISBN 978-2-7298-3153-0)

Jean-Louis Fellous et Catherine Gautier, *Comprendre le changement climatique*, O. Jacob, 2007 (ISBN 978-2-7381-1845-5)

Frédéric Denhez, *Atlas du réchauffement climatique*, Éditions Autrement, 2007 (ISBN 978-2-7467-0997-3) et son supplément : La France en 2100

W. Collins, R. Colman, J. Haywood, M. Manning et Ph. Mote, Réchauffement climatique, le temps des certitudes, *Pour la Science*, n° 360, octobre 2007, p. 68-75

Dossier *Pour la Science*, Climat, comment éviter la surchauffe, janvier-mars 2007



Václav Klaus, *Une planète bleue, pas verte*, (ouvrage remettant en cause l'origine humaine du réchauffement climatique), 2007

Les recherches françaises sur le changement climatique (2007, INSU / CNRS, 20 pages)

Caroline de Malet, *Climat en débats, pour en finir avec les idées reçues*, Lignes de repères, 2008 (ISBN 978-2-915752-35-9)

Bernard Francou et Christian Vincent, *Les glaciers à l'épreuve du climat*, IRD / Belin, 2007 (ISBN 978-2-7011-4641-6)

Frédérique Rémy, *Histoire de la Glaciologie*, Vuibert, 2007 (ISBN 978-2-7117-4016-1)

Jean-François Deconinck, *Paléoclimats*, SGF / Vuibert, 2007 (ISBN 2-7117-5395-6)

Édouard Bard (sous la direction d'), *L'Homme face au climat*, O. Jacob, 2006 (ISBN 2-7381-1660-4)

Édouard Bard, *L'homme et le climat, une liaison dangereuse*, Découvertes Gallimard, 2005 (ISBN 2-07-030094-3)

Mark Lynas, *Marée montante. Enquête sur le réchauffement de la planète* - éd. Au diable vauvert, 2005 (traduit de l'anglais : *High tide, news from a warming world*).

Hervé Le Treut, Jean-Marc Jancovici, *L'effet de serre, allons-nous changer le climat ?*, Flammarion, 2004 (ISBN 2-08-080081-7)

Pierre Lefèvre, *Un nouveau Climat, les enjeux du changement climatique*, La Martinière, 2003 (ISBN 9782732428871)

Jean-Marc Jancovici, *L'Avenir climatique. Quel temps ferons-nous ?*, Science ouverte, Seuil, 2002 (ISBN 2-02-051235-1)

Pierre Martin, *Ces risques que l'on dit naturels* (1998-2007), Eyrolles, Paris (ISBN 2-212-11917-8)

#### Ouvrages en langue anglaise :

(en) Anthony Giddens (2009), *The Politics of Climate Change*, Polity

(en) Roger Guesnerie et Henry Tulkens(eds), 2008, *The design of Climate policy*, MIT Press

(en) Indur M. Goklany (2007), *The Improving State of the World (Why We're Living Longer Healthier, More Comfortable Lives on a Cleaner Planet)* Cato Institute

(en) Spencer R. Weart (1997), *The Discovery of the Risk of Global Warming*, Physics Today 50

(1) : Modèle:P.34-40, janvier 1997. À propos de l'histoire de la prise de conscience du réchauffement Trevor Williams (2014) *Climate science : How Antarctic ice retreats* (New records of iceberg-rafter debris from the Scotia Sea reveal episodic retreat of the Antarctic Ice Sheet since the peak of the last glacial period, in step with changes in climate and global sea level) ; Nature ; Doi:10.1038/nature13345

## 10.2 Filmographie

*Une vérité qui dérange*, documentaire de Davis Guggenheim, commenté par Al Gore sur le réchauffement climatique. Ce film a valu à Al Gore (et au Giec qui lui a fourni les données scientifiques) le prix Nobel de la paix le 12 octobre 2007. Cependant, un juge de la haute cour de Londres a jugé que le film comporte « 9 erreurs »<sup>[350]</sup> qui participent à un « climat d'alarmisme et d'exagération » et que « la science est utilisée par un homme politique et un orateur de talent pour faire une déclaration politique et soutenir un programme politique »<sup>[N 9]</sup>, tout en reconnaissant la validité des arguments rendant les gaz à effet de serre d'origine humaine responsable du réchauffement climatique. Il l'a autorisé à être diffusé dans les écoles britanniques à la condition d'être accompagné d'un document évoquant les différentes thèses en débat sur les neuf erreurs pointées.

*Climat en crise*<sup>[351]</sup>, documentaire diffusé sur France 5, libre de tous droits. Ce reportage présente des prédictions climatiques faites par un super-calculateur (Japon) pour les années à venir (année 2100 max). Durée 50 min.

*La 11<sup>e</sup> heure, le dernier virage* (*The 11th hour*) produit par Leonardo DiCaprio et réalisé par Nadia Conners et Leila Conners Petersen<sup>[352]</sup> en 2007. Ce documentaire jette un regard sur l'état de l'environnement et donne des solutions pour tenter de restaurer l'écosystème planétaire, à travers des rencontres avec une cinquantaine de scientifiques, intellectuels et dirigeants politiques. Initialement prévu pour une diffusion en salles, le documentaire de Nadia Conners et Leila Conners Petersen avait en effet été rayé du planning des sorties de la Warner, au profit d'une exploitation en VOD (Video On Demand), jugée plus en adéquation avec les aspirations écologiques du film.

Enfin, une vingtaine de scientifiques de haut niveau ont contesté les principaux résultats du Giec dans le film *The Great Global Warming Swindle* (*La Grande Arnaque du réchauffement climatique*) en 2007. Ce film entraîna une vive réaction de la Royal Society

et du Met Office, et l'un des scientifiques cités par le film, C. Wunsch, protesta vivement contre la façon dont ses propos étaient utilisés. Le Muséum de Paris et le GIS Climat-Environnement-Société ont produit de courtes vidéos pédagogiques sur le thème « Changement climatique et biodiversité ».

## 10.3 Articles connexes

### 10.3.1 Notions générales

Adaptation au changement climatique Anthropocène

Ban des vendanges

Bilan carbone

personnel Bilan radiatif

de la Terre Biosphère

Changement

climatique Climat

Climatologie

Controverses sur le réchauffement climatique Crise écologique

Cycle du carbone

Écosystème

Énergie et effet de serre

Énergie renouvelable

Enjeux du réchauffement

climatique Environnement

Évolution en réponse aux changements climatiques Forçage radiatif

Gaz à effet de serre

Horloge de la fin du monde Insolation

Niveau de la mer

Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

Protocole de Kyoto

Relargage du méthane de

l'Arctique Risque naturel

Taxe carbone

Théories sur les risques d'effondrement de la civilisation industrielle

Transgression marine

UAH satellite temperature dataset (en)

Climate change in popular culture (en)

Politics of global warming (en)

### 10.3.2 Événements liés au dérèglement climatique

Canicule

Crue

Pollution

Tempête

## 10.4 Liens externes

### 10.4.1 Institutions ou organisations internationales

Le site du Giec (IPCC en anglais).

L'impact du changement climatique en Europe, par l'Agence européenne de l'environnement.

Prévisions environnementales de l'OCDE pour 2050 - Chapitre sur le changement climatique  
Web Bibliothèque Climat ; Tous les rapports de référence sur les changements climatiques

### 10.4.2 Institutions ou organisations françaises

Le rapport du Sénat sur L'ampleur des changements climatiques, de leurs causes et de leur impact possible sur la géographie de la France à l'horizon 2005, 2050 et 2100.

Le site du CNRS sur le climat.

Le Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement.

Le site de l'INRA sur le changement climatique.

Le site de Météo France sur le changement climatique.

Le site "climat en questions" de l'IPSL

Le premier observatoire francophone du changement climatique Un site d'Universcience destiné à tous celles et ceux qui souhaitent approfondir leur connaissance et leur compréhension du changement climatique en cours : vous y trouverez les dernières observations, projections, ainsi que l'explication des mécanismes de base.

Le site de l'ONERC (Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique) : <http://www.onerc.org/>

### 10.4.3 Groupes et associations

Manicore.com, le site de Jean-Marc Jancovici, l'un des plus détaillés sur le réchauffement climatique et les gaz à effet de serre

Dossier Greenpeace pour les non-spécialistes

*Méditerranée Climat*, portail d'actualité francophone sur le climat

Pourquoi la terre chauffe ? : À travers une animation, voici la présentation de quelques notions essentielles pour comprendre le réchauffement climatique

## 10.5 Glossaire des acronymes anglophones de ce domaine

(en) ONU/UNFCCC (2013), *Glossary of Climate Change Acronyms*, United Nations Framework Convention on Climate Change. Voir aussi le glossaire de la Wikipedia anglophone

## 11 Notes et références

### 11.1 Notes

- [1] Le glacier Perito Moreno en Argentine, par exemple, est un des rares glaciers en avancée. Les glaciers de Scandinavie et de Nouvelle-Zélande, soumis à d'importantes précipitations neigeuses hivernales, sont également en expansion. Cf. Christian Vincent et Delphine Six, *Les glaciers de montagne sont-ils menacés*, Dossier Pour la Science, Climat, comment arrêter la surchauffe ?, 2007, p. 28-29 (voir dans la bibliographie).
- [2] Par exemple dans les Alpes ou dans les Pyrénées.
- [3] La température moyenne terrestre est de 14 °C.
- [4] L'Allemagne - Académie allemande des sciences Leopoldina, le Canada - Société royale du Canada, les États-Unis - Académie américaine des sciences, la France - Académie des sciences, l'Italie - Académie des Lyncéens, le Japon - Académie japonaise des sciences, le Royaume-Uni - Royal Society, la Russie - Académie des sciences de Russie.
- [5] La Chine - Académie chinoise des sciences, l'Inde - Indian National Science Academy, le Brésil - Academia Brasileira de Ciências.
- [6] 1998 Année la plus chaude pour Met Office et 2005 pour le GISSTEMP.
- [7] Stratégie publiée par l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique.
- [8] Voir l'article *informatique verte*.
- [9] L'une de ces erreurs consiste à faire croire à une élévation rapide du niveau de la mer de plusieurs mètres, alors que celle-ci s'étendra sur plusieurs siècles. Par ailleurs, certains faits ne peuvent être attribués de manière certaine au réchauffement climatique, tels l'assèchement du lac Tchad, l'ouragan Katrina, ou la fonte des neiges du Kilimandjaro.

### 11.2 Références

- [1] Anomalie : écart positif ou négatif des valeurs d'un élément météorologique par rapport à sa moyenne (Grand Larousse Universel)
- [2] (en) « The IPCC 4th Assessment Report is coming out A picture of climate change the current state of understanding » [PDF], GIEC (IPCC en anglais), 2007 (consulté le 30 juillet 2008).
- [3] Dans son « rapport 2010 » (consulté le 23 août 2015) sur le changement climatique, l'Académie des sciences conclut que : « Plusieurs indicateurs indépendants montrent une augmentation du réchauffement climatique de 1975 à 2003. Cette augmentation est principalement due à l'augmentation de la concentration du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. L'augmentation de CO<sub>2</sub> et, à un moindre degré, des autres gaz à effet de serre, est incontestablement due à l'activité humaine. Elle constitue une menace pour le climat et, de surcroît, pour les océans en raison du processus d'acidification qu'elle provoque [...] »
- [4] Lawrence Livermore National Laboratory.
- [5] Anne Stark, *A human-caused climate change signal emerges from the noise* ; DOE Pulse (Revue du ministère américain de l'énergie), n° 378, 2012-12-17 ; Animation vidéo.
- [6] (en) Hughes L (2000) « Biological consequences of global warming : is the signal already apparent ? » *Trends in Ecology & Evolution*, p. 15, 56–61.
- [7] Agence européenne pour l'environnement, Rapport « *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012* » (Changement climatique, impacts et vulnérabilité en Europe), et résumé communiqué.
- [8] AEE.
- [9] L'utilisation de l'eau dans les centrales nucléaires, site EDF consulté le 6 janvier 2014.
- [10] Stratégie d'adaptation européenne de la Commission européenne.
- [11] « *Dérèglements climatiques* » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?) sur le site de Greenpeace.
- [12] Global surface temperature sur le site du MetOffice
- [13] « Que nous apprennent les observations de température ? », sur le site de Météo-France, sans date.
- [14] « Le changement climatique » (consulté le 23 août 2015).



- [15] (en) GLOBAL Land-Ocean Temperature Index, NASA-GISS, consulté le 27/01/2016.
- [16] (en) « GLOBAL Temperature Anomalies » (consulté le 27 janvier 2016).
- [17] W. Collins, R. Colman, J. Haywood, M. Manning et Ph. Mote, « Réchauffement climatique, le temps des certitudes », *Pour la Science*, n° 360, octobre 2007, p. 68-75 (lire en ligne).
- [18] L' « Académie des Sciences » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), consulté le 26 mars 2013 estime en 2010 que l'élévation a été de 0,8 °C depuis 1870, à plus ou moins 0,2 °C.
- [19] (en) Hansen, J., R. Ruedy, M. Sato, and K. Lo, 2010 : « Global surface temperature change ». *Rev. Geophys.*, 48, RG4004, doi:10.1029/2010RG000345.
- [20] (en) NASA, NOAA Analyses Reveal Record-Shattering Global Warm Temperatures in 2015, site giss.nasa.gov, 20 janvier 2016.
- [21] (en) Joseph D'Aleo, M.Sc., Madhav Khandekar, Ph.D., William Kininmonth, M.Sc., M.Admin., Christopher Essex, Ph.D., Wibjörn Karlén, Ph.D., Olavi Kärner, Ph.D., Ian Clark, Ph.D., Tad Murty, Ph.D. et James J. O'Brien, Ph.D., « Independent Summary for Policymakers, IPCC Fourth Assessment Report », Institut Fraser, 2007 (consulté le 30 juillet 2008) : « There is no globally-consistent pattern in long-term precipitation trends, snow-covered area, or snow depth. Many places have observed a slight increase in rain and/or snow cover. There is insufficient data to draw conclusions about increases in extreme temperature and precipitation. », p. 7.
- [22] [PDF] Rapport de l'Académie des Sciences, *le changement climatique*, 16 octobre 2010.
- [23] Entry 11 : Launch milestones, sur le site esa.int.
- [24] (en) CryoSat - ESA's ice mission, sur le site esa.int.
- [25] (en) Goddard Space Flight Center, « Arctic Sea Ice Continues to Decline, Arctic Temperatures Continue to Rise In 2005 », NASA, septembre 2005 (consulté en 2008-0730).
- [26] (en) D.A. Rothrock, Y. Yu et G.A. Maykut, « Thinning of the Arctic Sea-Ice Cover », *Geophysical Research Letters*, vol. 26, n° 23, 1<sup>er</sup> décembre 1999.
- [27] (en) GRID-Arendal, « Change in the age of ice on the Arctic Ocean, comparing September ice ages in 1988, 1990, 2001 and 2005 (évolution de l'âge moyen des glaces polaires) », *Maps and Graphics library*, Programme des Nations unies pour l'environnement, 2008 (consulté le 30 juillet 2008).
- [28] (en) GRID-Arendal, « Arctic temperature anomaly patterns (Anomalie de température en Arctique) », *Maps and Graphics library*, Programme des Nations unies pour l'environnement, 2008 (consulté le 30 juillet 2008).
- [29] (en) GRID-Arendal, « Thinning of the Arctic sea-ice (Diminution de l'épaisseur de la banquise arctique) », *Maps and Graphics library*, Programme des Nations unies pour l'environnement, 2008 (consulté le 30 juillet 2008).
- [30] Voir , site de l'équipe de recherche sur l'arctique de l'université de l'Illinois, et en particulier .
- [31] (en) National Snow and Ice Data Center, « Vidéo en QuickTime de la fonte de la banquise d'été, 2007 », NASA et NOAA (consulté le 30 juillet 2008).
- [32] « Damocles », Damocles, novembre 2008 (consulté le 4 janvier 2009).
- [33] Selon Tara, la fonte totale de la banquise en été interviendrait entre 2015 et 2020. Voir « Conférence de presse Tara Damoclès », Tara expéditions, 30 octobre 2007 (consulté le 4 janvier 2009). Certains observateurs, compte tenu de ces nouveaux résultats, envisagent une disparition totale de la banquise d'été aux alentours de 2013. Voir (en) « The big melt : lessons from the Arctic summer of 2007 (Accélération de la fonte de la banquise en 2007) » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), consulté le 26 mars 2013.
- [34] (en) S.B. Luthcke, H.J. Zwally, W. Abdalati *et al.*, « Recent Greenland Ice Mass Loss by Drainage System from Satellite Gravity Observations », *Science*, vol. 314, 2006 (DOI 10.1126/science.1130776, lire en ligne [PDF]).
- [35] Cf. un article du *Geophysical research letters* « Twentieth century bipolar seesaw of the Arctic and Antarctic surface air temperatures ».
- [36] Charles Green, « Des hivers plus rigoureux ? », *Pour la Science*, n° 424, février 2013, p. 62-69.
- [37] Audrey Garric, « La banquise arctique pourrait complètement disparaître d'ici à quatre ans », *Le Monde.fr*, 18 septembre 2012 (lire en ligne)
- [38] Voir , site de l'équipe de recherche sur l'arctique de l'université de l'Illinois, et en particulier .
- [39] Cressey D (2014) *Robot reveals surprisingly thick Antarctic sea ice Underwater survey questions longstanding assumptions about ice surrounding continent* ; *Nature* ; 24 novembre 2014 ; doi:10.1038/nature.2014.16397 (résumé)
- [40] *Nature* ; Research Highlights *Glaciology Early signs of ice retreat* ; *Nature* 534, 154 (09 juin 2016) doi:10.1038/534154a, mis en ligne le 08 juin 2016 (résumé)
- [41] Robin Bell, « L'eau, une menace pour les calottes polaires », *Pour la Science*, n° 367, mai 2008, p. 60-66.
- [42] « En images : la plaque Wilkins s'est séparée de la péninsule antarctique », sur *Futura-Sciences* (consulté le 18 octobre 2016)
- [43] Antarctique : la superficie de la glace à un maximum record, fr.ria.ru, 3 octobre 2012.
- [44] Nouveau record absolu pour la banquise antarctique, contrepoints.org ; 7 août 2013.
- [45] En Antarctique, le réchauffement provoque une extension de la banquise, *Le Monde.fr*, 31 mars 2013.
- [46] Church, J. A. et al. in *Climate Change 2013 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds Stocker, T. F. et al.) 1137–1177 (Cambridge Univ. Press, 2013).

- [47] (en) West Antarctic Glacier Loss Appears Unstoppable, site du Jet Propulsion Laboratory consulté le 23 mai 2014.
- [48] Clark P.U. et al. (2009) *The Last Glacial Maximum*. Science 325, 710–714 (résumé).
- [49] Heroy D.C. & Anderson J.B. (2007) *Radiocarbon constraints on Antarctic Peninsula ice sheet retreat following the Last Glacial Maximum*. Quat. Sci. Rev. 26, p. 3286–3297.
- [50] Mackintosh, A. et al. (2011) *Retreat of the East Antarctic ice sheet during the last glacial termination*. Nature Geosci. 4, p. 195–202.
- [51] Weber, M. E. et al. (2011) *Interhemispheric ice-sheet syn-chronicity during the Last Glacial Maximum*. Science 334, p. 1265–1269.
- [52] Bond G.C. & Lotti, R. (1995) *Iceberg discharges into the North Atlantic on millennial timescales during the last glaciation*. Science 267, p. 1005–1010.
- [53] Peltier W.R. (2004) *Global glacial isostasy and the surface of the ice-age Earth : the ICE-5G (VM2) model and GRACE*. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 32, 111–149 (résumé).
- [54] Bentley M.J. et al. (2010) *Deglacial history of the West Antarctic Ice Sheet in the Weddell Sea embayment : constraints on past ice volume change*. Geology 38, 411–414 (résumé).
- [55] Conway H., Hall B.L., Denton G.H., Gades A.M. & Waddington E.D. (1999) *Past and future grounding-line retreat of the West Antarctic ice sheet*. Science 286, 280–283 (résumé).
- [56] Weber, M. E., Clark, P. U., Kuhn, G., Timmermann, A., Spreng, D., Gladstone, R. M., ... & Friedrich, T. (2013) *Millennial-scale variability in Antarctic ice-sheet discharge during the last deglaciation-Figure 4, supplementary material*, mis en ligne le 28 mai 2014 (résumé).
- [57] Tollefson J. (2015) 'Stable' region of Antarctica is melting ; Radar data from Cryosat-2 probe show sudden ice loss on southern Antarctic Peninsula. 21 mai 2015 (résumé)(en)
- [58] Alexandra Witze (2015) *Gains in Antarctic ice might offset losses Thickening in East Antarctica does not lessen worry about rapidly thinning glaciers elsewhere*. Nature 02 octobre 2015
- [59] Jeff Tollefson, « Antarctic model raises prospect of unstoppable ice collapse », Nature, vol. 531, 30 mars 2016, p. 562 (DOI 10.1038/531562a, lire en ligne)
- [60] Nick Golledge, est modélisateur spécialiste des inlandsis à l'Université Victoria de Wellington en Nouvelle-Zélande
- [61] Golledge, N. R. et al. Nature 526, 421–425 (2015) (résumé).
- [62] Pollard, D. & DeConto, R. M. Nature (2016) *Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise* ; Revue Nature, 531, 591–597 (31 mars 2016) <http://dx.doi.org/10.1038/nature17145> (2016)
- [63] Sylvestre Huet, « Climat : les calottes sont cuites ? », Li-bération du 29 septembre 2015.
- [64] Katey Walter Anthony, *Méthane, un péril fait surface*, 390, Pour la Science, avril 2010, p. 73-79.
- [65] Source : NASA.
- [66] Louis Reynaud et Christian Vincent, « Histoire des fluctuations des glaciers en remontant le Petit Age de Glace », Variations climatiques et hydrologie, Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (Grenoble) (consulté le 30 juillet 2008).
- [67] (en) Intergovernmental panel on climate change, « 2.2.5.4 Mountain glaciers », Climate Change 2001 (Working Group I : The Scientific Basis) (consulté le 14 février 2006).
- [68] (en) National Snow and Ice Data Center, « Global glacier recession », GLIMS Data at NSIDC (consulté le 14 février 2006).
- [69] Philip Mote et Georg Kaser, « Les glaces du Kilimandjaro : Pourquoi elles ont régressé », Pour la Science, décembre 2007 (résumé).
- [70] C'est le point de vue du paléoclimatologue Lonnie Thompson, *Le Kilimandjaro continue à fondre*, Pour la Science, n° 387 (janvier 2010), p. 14.
- [71] (en) Kathleen Rühland, « Accelerated melting of Himalayan snow and ice triggers pronounced changes in a valley peatland from northern India », Geophysical Research Letters, vol. 33, 2006, p. L15709 (DOI 10.1029/2006GL026704, lire en ligne).
- [72] (en) Anil Anand, Experts question theory on global warming, 11 février 2007, Hindustan Times.
- [73] (en) V. K. Raina, « Himalayan Glaciers : A State-of-Art Review of Glacial Studies, Glacial Retreat and Climate Change », 2009 (consulté le 20 janvier 2010).
- [74] Le spectaculaire recul des glaciers andins depuis 30 ans, Institut de recherche pour le développement, février 2013
- [75] La Paz assoiffée par la fonte glaciaire ?, Institut de recherche pour le développement, Science au Sud n°48, janvier/février/mars 2009
- [76] T. Sato, J. Okuno, J. Hinderer, D.S. MacMillan, H.P. Plag, O. Francis, R. Falk et Y. Fukuda, « A geophysical interpretation of the secular displacement and gravity rates observed at Ny-Ålesund, Svalbard in the Arctic-effects of post-glacial rebound and present-day ice melting », Geophys. J. Int., vol. 165, 2006, p. 729–743.
- [77] Wahr J. & DaZhong H. (1995) *Predictions of vertical uplift caused by changing polar ice volumes on a viscoelastic earth*, Geophys. Res. Lett., 22, n° 8, p. 977–980.
- [78] Rerolle T., Florsh N., Llubes M., Boudin F. & Longuevergne L. (2006) : L'inclinométrie, un nouvel outil pour le suivi temporel des aquifères ?, C. R. Geoscience, 338, p. 775–786.
- [79] Sjöberg L.E., Pan M., Erlingsson S., Asenjo E. & Arnason K. (2004) *Land uplift near Vatnajökull, Iceland, as observed by GPS in 1992, 1996 and 1999*, Geophys. J. Int., 159, p. 943–948.

- [80] Tamtsiea, M. E., Mitrovica, J. X., Davis, J. L., & Milne, G. A. (2003). II : SOLID EARTH PHYSICS : Long Wa-velength Sea Level and Solid Surface Perturbations Dri-ven by Polar Ice Mass Variations : Fingerprinting Green-land and Antarctic Ice Sheet Flux. *Space Science Re-views*, 108(1-2), p. 81-93.
- [81] Ditmar, P., & Hashemi Farahani, H. (2012). *Added value of GOCE data to the recovery of linear trends in natural mass re-distribution in the Earth's system*. In EGU General Assembly Conference Abstracts (vol. 14, p. 9085), avril 2012 (résumé).
- [82] Ivins, E. R., Wu, X., Raymond, C. A., Yoder, C. F., & James, T. S. (2002). *Temporal geoid of a reboun-ding Antarctica and potential measurement by the GRACE and GOCE satellites*. In *Gravity, Geoid and Geodynamics 2000*, p. 361-366). Springer Berlin Heidelberg.
- [83] Goiginger, H., Rieser, D., Mayer-Gürr, T., & Höck, E. (2011) *Global combination gravity field model based on GOCE and GRACE data* *Vermessung & Geoinformation*, 2, p. 79-88.
- [84] Sasgen, I., Konrad, H., Ivins, E. R., Van den Broeke, M. R., Bamber, J. L., Martinec, Z., & Klemann, V. (2013) *Antarctic ice-mass balance 2003 to 2012 : regional reanalysis of GRACE satellite gravimetry measurements with improved estimate of glacial-isostatic adjustment based on GPS uplift rates*. *The Cryosphere*, 7(5), p. 1499-1512.
- [85] Rummel, R., Horwath, M., Yi, W., Albertella, A., Bosch, W., & Haagmans, R. (2011) *GOCE, satellite gravime-try and Antarctic mass transports*. *Surveys in geophysics*, 32(4-5), 643-657 (résumé).
- [86] Zlotnicki, V., Bettadpur, S., Landerer, F. W., & Watkins, M. M. (2013). *Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) : Detection of Ice Mass Loss, Terrestrial Mass Changes, and Ocean Mass Gains*. In *Earth System Moni-toring* (pp. 123-152). Springer New York (résumé).
- [87] Sasgen, I., Martinec, Z., & Fleming, K. (2007). *Regional ice-mass changes and glacial-isostatic adjustment in An-tarctica from GRACE*. *Earth and Planetary Science Let-ters*, 264(3), p. 391-401 (résumé).
- [88] Lee, H., Shum, C. K., Howat, I. M., Monaghan, A., Ahn, Y., Duan, J., ... & Wang, L. (2012) *Continuously accelera-ting ice loss over Amundsen Sea catchment, West Antarc-tica, revealed by integrating altimetry and GRACE data*. *Earth and Planetary Science Letters*, 321, p. 74-80.
- [89] Fukuda, Y., Hiraoka, Y., & Doi, K. (2007, January). *An experiment of precise gravity measurements on ice sheet, Antarctica*. In *Dynamic Planet* (pp. 88-93). Springer Ber-lin Heidelberg (résumé).
- [90] Métivier, L., Collilieux, X., & Altamimi, Z. (2012). *ITRF 2008 contribution to glacial isostatic adjustment and recent ice melting assessment*. *Geophysical Research Let-ters*, 39(1).
- [91] Mitrovica, J. X., & Vermeersen, B. L. (2002) « *Glacial isostatic adjustment and the Earth system* ». *Geodynamics Series*, 29, 1-2.
- [92] Zwally, H. J., Giovinetto, M. B., Li, J., Cornejo, H. G., Beckley, M. A., Brenner, A. C., ... & Yi, D. (2005) *Mass changes of the Greenland and Antarctic ice sheets and shelves and contributions to sea-level rise : 1992–2002*. *Journal of Glaciology*, 51(175), p. 509-527.
- [93] Deline P., Jaillet S., Rabatel A., Ravanel L. (2008) *Ground-Based LiDAR data on permafrost-related rock fall activity in the Mont-Blanc massif*. In Kane D.L., Hinkel K.M. (Eds.) : *Proceedings of the 9th International Confe-rence on Permafrost 2008*, Institute of Northern Enginee-ring, university of Alaska Fairbanks, 349-354.
- [94] Fischer L., Kääb A., Huggel C., Noetzi J. (2006), « *Geo-logy, glacier changes, permafrost and related slope insta-bilities in a high-mountain rock wall : Monte Rosa east face, Italian Alps* ». *Natural Hazards and Earth System Sciences* 6, 761-772.
- [95] Gruber S., Hoelzle M., Haeberli W. (2004) « *Perma-frost thaw and destabilization of Alpine rock walls in the hot summer 2003* ». *Geophysical Research Letters* 31, L13504.
- [96] Beniston M. (2005) « *Changement climatique et impacts possibles dans la région alpine* ». *Revue de géographie al-pine*, 93, 13-32.
- [97] Cossart E., Braucher R., Fort M., Boulès D.L., Carcaillet J. (2008) *Slope instability in relation to glacial debuttressing in alpine areas (Upper Durance catchment, southeastern France) : evidence from field data and 10Be cosmic ray exposure ages*. *Geomorphology* 95, 3-26.
- [98] Evans S.G., Clague J.J. (1994) « *Recent climatic change and catastrophic geomorphic processes in mountain envi-ronments* ». *Geomorphology* 10, 107-128.
- [99] « *Les Alpes s'écroulent, déstabilisées par le réchauffement climatique* ».
- [100] Ravanel, L., & Deline, P. (2009). « *La face ouest des Drus (massif du Mont-Blanc) : évolution de l'instabilité d'une paroi rocheuse dans la haute montagne alpine depuis la fin du petit âge glaciaire* ». *Géomorphologie : relief, processus, environnement* (4/2008), 261-272.
- [101] P. Debaeke, S. Pellerin, J. Le Gouis, A. Bispo, T. Eglin et A. Trévisol, « *Les défis de l'agriculture* », *Pour la Science*, n° 437, mars 2014, p. 70-73.
- [102] Selon Jean-Marc Touzard, économiste à l'INRA, les dates des vendanges ont avancé de deux à trois semaines depuis 1960, (revue Pour la Science, n°451, mars 2015, p.34)
- [103] « *Les dates de vendanges : un indicateur du climat du pas-sé* », *Communiqué de presse, CNRS*, 18 novembre 2004 (consulté le 30 juillet 2008).
- [104] (en) CNRS, « *Grape ripening as a past climate indicator* », *Nature*, vol. 432, 18 novembre 2004 (lire en ligne [PDF]).
- [105] (en) Parmesan & Yohe, A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems, vol. 401, *Nature*, 2003 (lire en ligne), p. 37.



- [106] (en) Perry et al., *Climate Change and Distribution Shifts in Marine Fishes*, vol. 308, Science, 2005 (lire en ligne), p. 1912.
- [107] Shawn M. Crimmins, Solomon Z. Dobrowski, Jonathan A. Greenberg, John T. Abatzoglou et Alison R. Mynsberge, « Report Changes in Climatic Water Balance Drive Downhill Shifts in Plant Species' Optimum Elevations », dans *Science*, vol. 331, n° 6015, 21 janvier 2011, p. 324-327 DOI :10.1126/science.1199040.
- [108] Projet GLORIA (Global Observation Research Initiative In Alpine Environments), et publication ; Michael Gottfried et al.(2012), « <http://www.nature.com/nclimate/journal/vaop/ncurrent/full/nclimate1329.html> » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), consulté le 26 mars 2013 AffiliationsContributionsCorresponding author Jour-nal name : *Nature Climate Change* ; DOI : doi:10.1038/nclimate1329 ; reçu mars 2011 ; accepté 15 novembre 2011, en ligne 10 janvier 2012, avec résumé par Tela bo-tanica.
- [109] V.A. Barber, G.P. Juday et B.P. Finney, « Reduced growth of Alaskan whitespruce in the twentieth century from temperature-induced drought stress », *Nature*, vol. 405, 2000, p. 668–673.
- [110] Source NOAA ; Over 1 000 Sea Turtles Rescued by Vo-lunteers in Southern Texas March 1, 2011.
- [111] INRA : Forêts et réchauffement climatique : des chenilles qui ne perdent pas le nord.
- [112] Lettre d'information du muséum, octobre 2005.
- [113] Frédéric Jiguet, « Les oiseaux, révélateurs du réchauffement », *Pour la Science*, n° 379, mai 2009 (résumé).
- [114] Lomolino, M. V., Sax, D. F., Palombo, M. R., & van der Geer, A. A. (2012). *Of mice and mammoths : evaluations of causal explanations for body size evolution in insular mammals*. *Journal of Biogeography*, 39(5), p. 842-854.
- [115] Orcutt, J. D., & Hopkins, S. S. (2013). *Oligo-Miocene cli-mate change and mammal body-size evolution in the nor-thwest United States : a test of Bergmann's Rule*. *Paleobio-logy*, 39(4), 648-661. (résumé).
- [116] J.L. Gardner, A. Peters, M.R. Kearney, L. Joseph et R. Heinsohn, « Declining body size : a third universal res-ponse to warming ? », *Trends Ecol. Evol.*, vol. 26, 2011, p. 285–291 (lire en ligne [PDF])
- [117] (en) Jennifer A. Sheridan1 & David Bickford1, « Shrinking body size as an ecological response to climate change », *Nature Climate Change*, 2011 (DOI 10.1038/nclimate1259).
- [118] pour Paleocene-Eocene Thermal Maximum.
- [119] ScienceDaily (2013) *Global warming led to dwarfism in mammals -- twice* d'après l'University of Michigan (2013-11-02) Consulté 2013-11-03, sur la base de tra-vaux financés par la NSF (National Science Foundation ; EAR0958821), la GSA (Geological Society of America), la société paléontologique des États-Unis et la Société Sig-ma Xi.
- [120] Smith, J. J., Hasiotis, S. T., Kraus, M. J. & Woody, D. T. (2009), *Transient dwarfism of soil fauna during the Paleocene–Eocene Thermal Maximum*. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 106, p. 17655–17660.
- [121] Daufresne, M., Lengfellner, K. & Sommer, U.(2009) *Global warming benefits the small in aquatic ecosystems*. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 106, p. 12788–12793.
- [122] Shi, D., Xu, Y., Hopkinson, B. M. & Morel, F. M. M. (2010) *Effect of ocean acidification on iron availability to marine phytoplankton*. *Science* 327, p. 676–679.
- [123] Le dernier siècle de l'ours polaire, *Le Monde*, 26 novembre 2014
- [124] L. Scott Mills,Marketa Zimova, Jared Oyler, Steven Run-ning, John T. Abatzoglou et Paul M. Lukacs, *Camouflage mismatch in seasonal coat color due to decreased snow duration*, *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2013 Apr 30 ; 110(18) : 7360–7365. Published online 2013 Apr 15. doi : 10.1073/pnas.1222724110
- [125] News intitulée : *Climate change could eventually claim a sixth of the world's species* ; Science | DOI : 10.1126 / science.aab2576.
- [126] (en) P.J. Webster, G.J. Holland, J.A. Curry et H.R. Chang, « Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment », *Science*, vol. 309, n° 5742, septembre 2005 (lire en ligne).
- [127] (en) Helen Briggs, « 'Warming link' to big hurricanes », *BBC News*, BBC, septembre 2005 (consulté le 30 juillet 2008) : « The debate is likely to continue, however, as some scientists argue that the present hurricane surge is part of a 60 to 70-year cycle linked to natural effects. They believe climate change due to human activity will not significantly affect hurricanes and that damage caused by increased development along coastlines is a bigger factor. ».
- [128] (en) Joseph D'Aleo, M.Sc., Madhav Khandekar, Ph.D., William Kininmonth, M.Sc., M.Admin., Christopher Essex, Ph.D., Wibjörn Karlén, Ph.D., Olavi Kärner, Ph.D., Ian Clark, Ph.D., Tad Murty, Ph.D. et James J. O'Brien, Ph.D., « Independent Summary for Policymakers, IPCC Fourth Assessment Report », Institut Fraser, 2007 (consulté le 30 juillet 2008) : « In the tropics, there is evidence of increased cyclone intensity but a decrease in total tropical storms, and no clear global pattern since 1970 », p. 7.
- [129] Christophe Magdelaine, « Le lien entre les cyclones et le réchauffement climatique », 2005 (consulté le 16 no-vembre 2011).
- [130] (en) Philip Klotzbach et Département des sciences de l'atmosphère, « Trends in global tropical cyclone activ-ity over the past twenty years (1986–2005) », *Geophys-ical Research Letters*, Université d'État du Colorado, vol. 33, 20 mai 2006 (DOI 10.1029/2006GL025881, lire en ligne).
- [131] (fr) « Orwell au pays des cyclones » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), consulté le 26 mars 2013.

- [132] (en) « Global and Northern Hemisphere Tropical Cyclone Activity [still] lowest in 30-years », université de Floride (consulté le 29 mars 2009).
- [133] (en) Downscaling CMIP5 climate models shows increased tropical cyclone activity over the 21st century, site PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America) consulté le 18 mai 2014.
- [134] Global Warming Art.
- [135] Anny Cazenave et Etienne Berthier, « La montée des océans : jusqu'où ? », *Pour la Science*, n° 388, février 2010, p. 20-27 (résumé).
- [136] SHOM, « Application marégraphique : niveau moyen des mers », REFMAR (consulté le 23 janvier 2014).
- [137] « L'élévation du niveau de la mer » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), consulté le 26 mars 2013.
- [138] Service météorologique du Canada, « Élévation du niveau de la mer au Nouveau-Brunswick », Environnement Canada (consulté le 30 juillet 2008).
- [139] Voir sur *ifremer.fr*.
- [140] Courbe de la quantité de chaleur.
- [141] M.-E. Perga, E. Prévost, J.-L. Baglinière, « Préserver la richesse des milieux aquatiques », *Pour la Science*, n° 437, mars 2014, p. 82-85.
- [142] « Le climat met la recherche scientifique en ébullition », *Les Échos* du 8 juillet 2015.
- [143] (en) Holli Riebeek et Robert Simmon, « Paléoclimatologie : enregistrement des données provenant de l'étude des carottes glaciaires. », *Observatoire de la Terre*, NASA, 19 décembre 2005 (consulté le 30 juillet 2008).
- [144] « EPICA fait parler les carottes glaciaires de l'Antarctique », 13 mars 2008.
- [145] Lee Kump, « Le dernier grand réchauffement », *Pour la Science*, n° 408, octobre 2011, p. 40-46 (résumé)
- [146] Emmanuel Le Roy Ladurie reste prudent sur cette durée : « Laissons de côté, ou du moins considérons avec prudence, la notion de *petit optimum médiéval* (POM). On a voulu le faire durer du IX<sup>e</sup> siècle au XIII<sup>e</sup> siècle et l'étendre au monde entier ! [...] Je veux me borner ci-après à une constatation essentiellement séculaire : il y a bien en tout état de cause au XIII<sup>e</sup> siècle, en *Europe occidentale*, une longue série d'étés secs, vraisemblablement chauds, qui se montrent dans l'ensemble plutôt favorables aux agriculteurs, et par voie de conséquence, aux consommateurs » in Histoire humaine et comparée du climat, Canicules et glaciers, du XIII<sup>e</sup> au XVIII<sup>e</sup> siècle, Fayard (2004), p. 8-9.
- [147] M. Garnier, « Les hivers de 1400 à 1800 », *Mémorial de la météorologie nationale*, AlerteMétéo.com, 1967 (consulté le 30 juillet 2008) : « Le lundi 7 janvier 1709, lit-on dans une chronique de l'époque, commença une gelée qui fut ce jour-là la plus rude et la plus difficile à souffrir : elle dura jusqu'au 3 ou 4 février. Pendant ce temps-là, il vint de la neige d'environ un demi-pied de haut : cette neige était fort fine et se fondait difficilement. Quelques jours après qu'elle fut tombée, il fit un vent fort froid d'entre bise et galerne (c'est-à-dire d'entre N et NW) qui la ramassa sur les lieux bas, ils découvrirent les blés qui gelèrent presque tous. ».
- [148] Constraints on the magnitude and patterns of ocean cooling at the Last Glacial Maximum ; MARGO Project Members ; *Nature Geosciences* ; février 2009.
- [149] (en) « AR4 SYR SPM page 5 » [PDF] (consulté le 16 octobre 2010).
- [150] (en) Karl TR, Trenberth KE, « Modern Global Climate Change », *Science*, vol. 302, n° 5651, 2003, p. 1719–23 (PMID 14657489, DOI 10.1126/science.1090228, lire en ligne).
- [151] (en) Le Treut H, Somerville R, Cubasch U, Ding Y, Mauritzen C, Mokssit A, Peterson T and Prather M, Historical Overview of Climate Change Science In : Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M and Miller HL, editors), Cambridge University Press, 2007, PDF (lire en ligne).
- [152] (en) « NASA Science Mission Directorate article on the water cycle », *Nasascience.nasa.gov* (consulté le 16 octobre 2010).
- [153] J.-M. Guehl, J.-F. Soussana, *L'adaptation au changement climatique*, *Pour la Science*, février 2014, n° 436, p. 17.
- [154] Stéphane Fouks, « 2015, année de tous les records climatiques », *Le Monde.fr*, 9 novembre 2015 (lire en ligne)
- [155] « Réchauffement climatique : nouveaux records des gaz à effet de serre en 2014 », *Le Parisien.fr*, 9 novembre 2015 (lire en ligne)
- [156] [http://contreinfo.info/article.php3?id\\_article=1970](http://contreinfo.info/article.php3?id_article=1970).
- [157] Durand F. Le réchauffement climatique en débats, 2007. [réf. insuffisante]
- [158] (en) « University of California » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), consulté le 26 mars 2013.
- [159] (en) *Carbon Dioxide Information Analysis Center*.
- [160] « Événements marquants », OMM, 2007 (consulté le 30 juillet 2008) entrée pour l'année 1979.
- [161] (en) « Climate Change 2001 : Working Group I : The Scientific Basis (chapitre 12 : les bases scientifiques) », GIEC, 2001 (consulté le 30 juillet 2008) : « Most of the discussion in this section has been concerned with evidence relating to a human effect on late 20th century climate. The observed global mean surface temperature record shows two main periods of warming. Some studies detect a solar influence on surface temperature over the first five decades of the century, with perhaps a small additional warming due to increases in greenhouse gases. One study suggests that the early warming could be due to a combination of anthropogenic effects and a highly

- unusual internal variation. Thus the early century warm-ing could be due to some combination of natural internal variability, changes in solar irradiance and some anthropogenic influence. The additional warming in the second half-century is most likely to be due to a substantial warming due to increases in greenhouse gases, partially offset by cooling due to aerosols, and perhaps by cooling due to natural factors towards the end of the period. ».
- [162] Voir *Évolution temporelle du dioxyde de carbone par le Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement*.
- [163] rapport de 2001.
- [164] (en) American Geophysical Union, « AGU Position Statement », décembre 2003 (consulté le 26 décembre 2009).
- [165] « Déclaration commune des Académies des sciences sur la réponse globale au changement climatique » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), consulté le 26 mars 2013.
- [166] IPCC, 2014 : Climate Change 2014 : Synthesis Report.
- [167] Science, « Urgence climatique », *Nouvel Observateur*, n° 2247, 23 novembre 2007, p. 119.
- [168] (en) « summary for policy makers ; Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change », IPCC, 2013
- [169] (en) Seok-Woo Son et al., « Ozone hole and Southern Hemisphere climate change », *Geophysical Research Letters*, 11 août 2009
- [170] (en) Kevin Michael Grise, « Understanding the varied influence of the mid-latitude jet on clouds and cloud-radiative effects in observations and global climate models. », *Journal of Climate Science*, 2016
- [171] (en) Ph. Ciais, « Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003 », *nature*, septembre 2005
- [172] (en) Climate Change 2014 : Synthesis Report (lire en ligne), « Annex II : Glossary », p117-130
- [173] [PDF] *Annexe B - Glossaire du Troisième Rapport d'Évaluation du GIEC*, site du GIEC.
- [174] Ed Hawkins et Rowan Sutton, « The Potential to Narrow Uncertainty in Regional Climate Predictions », *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 90, n° 8, 1<sup>er</sup> août 2009, p. 1095–1107 (ISSN 0003-0007, DOI 10.1175/2009BAMS2607.1, lire en ligne)
- [175] Karl E. Taylor, Ronald J. Stouffer et Gerald A. Meehl, « An Overview of CMIP5 and the Experiment Design », *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 93, 7 octobre 2011, p. 485–498 (ISSN 0003-0007, DOI 10.1175/BAMS-D-11-00094.1, lire en ligne)
- [176] « La modélisation numérique du climat : un outil en pleine évolution » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), consulté le 26 mars 2013.
- [177] (en) Nebojsa Nakicenovic, et al., « Special report on Emission Scenarios », Programme des Nations unies pour l'environnement (consulté le 1<sup>er</sup> août 2008).
- [178] (en) Bjørnæs, C., A guide to Representative Concentration Pathways., CICERO. Center for International Climate and Environmental Research., 2013 (lire en ligne)
- [179] (en) Detlef P. van Vuuren, Jae Edmonds, Mikiko Kainuma et Keywan Riahi, « The representative concentration pathways : an overview », *Climatic Change*, vol. 109, n° 1-2, 5 août 2011, p. 5 (ISSN 0165-0009 et 1573-1480, DOI 10.1007/s10584-011-0148-z, lire en ligne)
- [180] « Foire aux questions », Projet canadien de répercussions climatiques (consulté le 1<sup>er</sup> août 2008).
- [181] (en) Nebojsa Nakicenovic, et al., « IPCC Special Report on Emissions Scenarios, Chapter 4 : An Overview of Scenarios / 4.2. SRES Scenario Taxonomy / Table 4- 2 : Overview of SRES scenario quantifications. », Programme des Nations unies pour l'environnement (consulté le 1<sup>er</sup> août 2008).
- [182] (en) Nebojsa Nakicenovic, et al., « Figure 2.11 : Schematic illustration of SRES scenarios (IPCC) », Programme des Nations unies pour l'environnement (consulté le 1<sup>er</sup> août 2008).
- [183] (en) « assessment report 4, working group 1, du GIEC » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), consulté le 26 mars 2013.
- [184] « Le climatologue James E. Hansen prédit un sombre avenir à la Terre », *Le Monde* du 28 septembre 2006.
- [185] Le réchauffement climatique stoppé depuis 1998 ?, site Sciences.blogs.Libération, 4 février 2014.
- [186] (en) Climate change prediction : Erring on the side of least drama ?, *Global Environmental Change* (Elsevier), vol.23 (fév.2013), Brysse et al.
- [187] (en) Climate Scientists Erring on the Side of Least Drama, sur le site Skeptical Science -Getting skeptical about global warming skepticism.
- [188] (en) Global Carbon Budget - Media Summary Highlights (compact), site Global carbon project, 21 septembre 2014.
- [189] Émissions de CO<sub>2</sub> en 2014 : vers un record à 37 milliards de tonnes, *La Tribune*, 22 septembre 2014.
- [190] Selon le rapport L'eau à l'horizon 2025 publié en août 2008 par l'association des entreprises pour l'environnement.
- [191] Characterising dangerous climate change. Nigel Arnell. Tyndall Centre (en) for Climate Change Research. 2007.
- [192] « Réchauffement : Un siècle foudroyant », *Journal de l'Environnement*, novembre 2014 (lire en ligne)
- [193] INERIS, Qualité de l'air et climat : quelles synergies ? Double page (PDF) sur le thème des synergies entre polluants de l'air et climat.
- [194] Trois documents (projet 2010 et rapports 2011 de SALU-TAIR [PDF] téléchargeables ici.



- [195] Ineris (2009) *Interactions entre pollution atmosphérique et changement climatique*, 23 juin 2009 ; 13 pages (PDF).
- [196] [PDF] Bertrand Bessagnet, Jean-Marc Brignon, Anne-Christine Le Gall, Frédéric Meleux, Simone Schucht, Laurence Rouil (2009) *Politiques combinées de gestion de la qualité de l'air et du changement climatique (partie 1) : enjeux, synergies et antagonismes*, Rapport d'étude /2009 n° DRC-09-103681-02123A 91 pages, INERIS, réalisé pour MEEDDAT/DGEC.
- [197] Programme de recherche inter-organisme pour une meilleure qualité de l'air (Portail Web, page d'accueil).
- [198] « Les calottes polaires sont-elles en train de fondre », Frédéric Parrenin et Catherine Ritz, 2007 (consulté le 28 décembre 2009).
- [199] « Oceanography : The Atlantic heat conveyor slows » (Archive • Wikix • Archive.is • Google • Que faire ?), consulté le 26 mars 2013.
- [200] (en) Richard Seager, « Climate mythology : The Gulf Stream, European climate and Abrupt Change », Lamont-Doherty Earth Observatory, université Columbia, 7 juin 2007 (consulté le 3 août 2008).
- [201] (en) *The Impact of a Changing Southern Hemisphere Annular Mode on Antarctic Peninsula Summer Temperatures*.
- [202] (en) Alister Doyle, « Antarctic Ice Collapse Linked to Greenhouse Gases », Reuters, 16 octobre 2006 (consulté le 3 août 2008).
- [203] (en) Peter T. Doran et al., « Antarctic climate cooling and terrestrial ecosystem response », *Nature*, n° 415, 31 janvier 2002, p. 517-520 (DOI 10.1038/nature710, lire en ligne).
- [204] Les poumons océaniques et maritimes sont au bord de l'asphyxie, Les Échos du 8 juillet 2015.
- [205] « Polar bear (*Ursus maritimus*) », Endangered Species Program, 15 mai 2008 (consulté le 1<sup>er</sup> janvier 2010).
- [206] (rapport INERIS intitulé *Impact du changement climatique sur la stabilité des cavités souterraines* daté du mardi 30 mars 2010), 12 pages.
- [207] (en) James Hansen et al., « Target Atmospheric CO<sub>2</sub> : Where should Humanity Aim ? », Université Columbia, 7 avril 2008 : « Cité par Stéphane Foucart dans *Le Monde* du 11 avril 2008 ».
- [208] Anne Gouyon et Maximilien Rouer, « Réparer la planète : la révolution dans l'économie positive : les solutions existent » ; Lattès et Becitizen - octobre 2007).
- [209] « Le plus noir des scénarios climatiques se profile » article du Monde, 13 mars 2009 Lire l'article.
- [210] George Monbiot Traduction d'un article du 12 mars dans The Guardian (9 mars 2009).
- [211] Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions scenarios, *Science*, 3 juillet 2015.
- [212] <http://www.inra.fr/sia2003/effet-serre-CO2.html>.
- [213] « L'arctique : un monde en pleine évolution », CNRS / IPEV, janvier 2008 (consulté le 10 janvier 2009).
- [214] « Zoom sur l'Espace Presse du CNRS », CNRS / inist, 2005-2008.
- [215] (en) L.C. Smith, G.M. MacDonald, A.A. Velichko et al., « Siberian Peatlands a Net Carbon Sink and Global Methane Source Since the Early Holocene », {{Article}} : paramètre « périodique » manquant, *Science*, vol. 303, 16 janvier 2004 (lire en ligne).
- [216] Forêts tropicales : l'énigme persiste, Sciences blog, 23 décembre 2014.
- [217] Travail coordonné par Paul Leadley, professeur à l'Université Paris-Sud et président du comité de pilotage du programme phare FRB « modélisation et scénarios de biodiversité ».
- [218] CDB, 2010, Cahier technique de la CDB « Scénarios de biodiversité : projection des changements de la biodiversité et des services écosystémiques pour le XXI<sup>e</sup> siècle ».
- [219] Le cahier est téléchargeable sur le site de la FRB (rubrique « dernières publications »).
- [220] « Assessment Report », GIEC groupe II, 4<sup>e</sup> rapport, p. 37, 2007.
- [221] « Actes de l'audition publique *La biodiversité : l'autre choc* », *Les apports de la science et de la technologie au développement durable*, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 28 mars 2007 (consulté le 4 août 2008).
- [222] (en) Chris D. Thomas et al., « Extinction risk from climate change which populations of a species currently persist in the face of », *Nature*, vol. 427, 8 janvier 2004 (lire en ligne [PDF]).
- [223] (en) G.F. Midgley, L. Hannah, D. Millar, M.C. Rutherford et L.W. Powrie, « Assessing the vulnerability of species richness to anthropogenic climate change in a biodiversity hotspot », *Global Ecology and Biogeography*, Wiley, vol. 11, n° 6, 11 décembre 2002, p. 445-451 (résumé).
- [224] (en) Jay R. Malcolm, Canran Liu, Ronald P. Neilson, Lara Hansens et Lee Hannah, « Global Warming and Extinctions of Endemic Species from Biodiversity Hotspots », *Conservation Biology*, vol. 20, n° 2, 24 février 2006, p. 538-548 (résumé).
- [225] (en) Arpat Ozgul, Dylan Z. Childs, Madan K. Oli, Kenneth B. Armitage, Daniel T. Blumstein, Lucretia E. Olson, Shripad Tuljapurkar & Tim Coulson ; Coupled dynamics of body mass and population growth in response to environmental change ; *Nature* 466, p. 482-485, 22 juillet 2010 ; doi:10.1038/nature09210 ; reçu le 11 février 2010 ; accepté le 28 mai 2010.
- [226] (en) V. Ramanathan, « The greenhouse theory of climate change : a test by an inadvertent global experiment », *Science*, vol. 240, n° 4850, 15 avril 1988, p. 293-299 (résumé).

- [227] Le blanchissement corallien perturbe la structuration des peuplements de poissons.
- [228] (en) Paul Reiter, « Dangers of disinformation », 11 janvier 2007 (consulté le 4 août 2008).
- [229] (en) Chambre des lords, « Government Response to the Economics of Climate Change », *Select Committee on Economic Affairs*, Gouvernement britannique, novembre 2005 (consulté le 4 août 2008).
- [230] (fr) « Le Passage du Nord-Ouest devient navigable », RFI, 15 septembre 2007 (consulté le 4 août 2008).
- [231] (fr) « Prévisions d'écart de température en France métropolitaine entre 2000 et 2100 » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), consulté le 26 mars 2013.
- [232] (fr) « Prévisions des canicules vers 2100 » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), consulté le 26 mars 2013.
- [233] *Climat : les canicules vont se multiplier*, site Sciences.blog de Libération, 3 février 2014.
- [234] [http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/rapport-changt\\_climatbra.pdf](http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/rapport-changt_climatbra.pdf).
- [235] (fr) « Modélisation des aires de répartition des groupes chorologiques », INRA de Nancy, 30 mai 2008 (consulté le 5 août 2008).
- [236] Y. Peings, M. Jamous, S. Planton, H. Le Treut, sous la direction de J. Jouzel, vol. 1 : *Scénarios régionalisés* - janvier 2011 - 22 mars 2012 - Énergies et climat.
- [237] Y. Peings, M. Jamous, S. Planton, H. Le Treut, M. Déqué, H. Gallée, L. Li, sous la direction de J. Jouzel, vol. 2 : *Scénarios régionalisés - Indices de référence pour la métropole* - février 2012.
- [238] S. Planton, A. Cazenave, P. Delecluse, N. Dorfliger, P. Gaufres, D. Idier, M. Jamous, G. Le Cozannet, H. Le Treut, Y. Peings, sous la direction de J. Jouzel, vol. 3 : *Évolution du niveau de la mer* - février 2012 - 22 mars 2012 - Énergies et climat.
- [239] Le climat de la France au XXI<sup>e</sup> siècle : actualisation des projections, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'énergie, 8 septembre 2014.
- [240] Le climat de la France au XXI<sup>e</sup> siècle - vol. 4, ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 8 septembre 2014.
- [241] « Comprendre, prévoir et agir pour le climat en Aquitaine »
- [242] (en) Committee on Abrupt Climate Change, National Research Council, Abrupt Climate Change : Inevitable Surprises, The National Academies Press, 2002 (ISBN 0-309-07434-7 et 978-0-309-07434-6, lire en ligne), p. 244.
- [243] Par exemple, une étude du conservatoire du littoral.
- [244] (en) A.L. Perry, P.J. Low et J.R. Reynolds, « Climate Change and Distribution Shifts in Marine Fishes », *Science*, 24 juin 2005, p. 1912-1915.
- [245] (en) G. Beaugrand et R.R. Kirby, « Climate, Plankton and Cod », *Global Change Biology*, Wiley, avril 2010, p. 1268–1280.
- [246] (en) G. Beaugrand, S. Lenoir, F. Ibañez et C. Manté, « A new model to assess the probability of occurrence of a species based on presence-only data », *MEPS*, 1<sup>er</sup> mars 2011, p. 175-190.
- [247] (en) K. Drinkwater, « The response of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to future climate change », *ICES Journal of Marine Science*, 2005, p. 1327-1337.
- [248] (en) S. Lenoir, G. Beaugrand et E. Lécuyer, « Modelled spatial distribution of marine fish and projected modifications in the North Atlantic Ocean », *Global Change Biology*, Wiley, 2011, p. 115-129.
- [249] S.V. Kumar et P.A. Wigge, H2A.Z-containing nucleosomes mediate the thermosensory response in *Arabidopsis*, *Cell*, vol. 140, p. 136-147, 2010.
- [250] Brève du journal Pour la Science (par Jean-Jacques Perrier, 2010/01/25).
- [251] Avis du Comité économique et social européen sur les « Rapports entre changement climatique et agriculture à l'échelon européen » (2009/C 27/14), adopté dans la 446<sup>e</sup> session plénière des 9 et 10 juillet 2008, mais publié le 3 février 2009.
- [252] Dossier thématique « Klimaschutz und Öko-Landbau » (« Protection du climat et agriculture biologique »), in : *Ökologie und Landbau*, n° 1/2008.
- [253] Réponse du gouvernement fédéral à l'interpellation orale du groupe Alliance 90/Les Verts sur le thème « Agriculture et protection du climat », document 16/5346, point 13.
- [254] *Cool farming* : Climate impacts of agriculture and mitigation potential (« Une agriculture rafraîchissante : les retombées de l'agriculture pour le climat et son potentiel d'atténuation du changement climatique »), étude de Greenpeace, décembre 2007.
- [255] Paul Crutzen, N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels (« Les émissions de N<sub>2</sub>O issues de la production de biodiesel annulent les effets climatiques positifs du remplacement des combustibles fossiles »), in : *Atmospheric Chemistry and Physics Discussion*, 7, 11191-11205, 2007.
- [256] Paragraphe 3.30 de l'avis du CESR européen déjà cité.
- [257] (fr) EMPA news, n° 21, « Rouler « climatiquement neutre », n'est pas forcément écologique », 2008 (consulté le 3 avril 2009) L'Empa est le « Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche » ; un institut suisse de recherche sur les matériaux et la technologie, à l'École polytechnique fédérale de Zurich (ETH).
- [258] Jedediah Brodie, Eric Post et William Laurance, « How to conserve the tropics as they warm », *Nature*, vol. 468, 2 décembre 2010, p. 634 (DOI 10.1038/468634c, lire en ligne)
- [259] (fr) lien RFI, consulté le 25 juillet 2010.

- [260] Pauline Gaudin Betsch, thèse intitulée *Les relations hydriques chez le hêtre (Fagus sylvatica L.) : résistances au transfert de l'eau, régulation de la transpiration et contribution des réserves d'eau échangeable en réponse à la sécheresse soutenue* le 9 décembre 2010.
- [261] de Bohan C., 2006 : « Climat : comment s'adapter au réchauffement ? », *Forêts de France (revue de la Fédération nationale des syndicats de propriétaires forestiers sylviculteurs)*, n° 491, mars 2006, p. 29-33.
- [262] Romain Bertrand, Jonathan Lenoir, Christian Piedallu, Gabriela Riofrío-Dillon, Patrice de Ruffray, Claude Vidal, Jean-Claude Pierrat, Jean-Claude Gégout, « *Changes in plant community composition lag behind climate warming in lowland forests* » (Archive • Wikixix • Archive.is • Google • Que faire ?), consulté le 26 mars 2013, *Nature*, vol. 479, p. 517–520, 24 novembre 2011 ; doi:10.1038/nature10548, reçu 2011-05-25, accepté 2011-11-09, mis en ligne 2011-10-19 ; Il s'agit d'une étude conjointement menée par AgroParisTech, l'INRA et le CNRS, l'IFN et l'université danoise d'Aarhus (résumée par Tela botanica en janvier 2012).
- [263] F. Lefèvre, D. Loustau, B. Marçais, *Vers une gestion adaptative des forêts*, Pour la Science, **437**, mars 2014, p. 78-81.
- [264] Erik Kirschbaum, *Reuter : Le changement climatique ouvre une voie maritime en Arctique*, *l'express.fr*, 22/08/2009 [lire en ligne].
- [265] (fr) « Le rapport Stern, par chapitres » (consulté le 31 décembre 2009).
- [266] Le coût du réchauffement, une bombe financière pour la planète, *Les Échos* du 9 octobre 2015.
- [267] Impacts sanitaires du changement climatique : quels enjeux pour l'InVS ?.
- [268] Brownstein John S., Holford Theodore R. et Fish Durland, « Effect of Climate Change on Lyme Disease Risk in North America », *EcoHealth*, vol. 2, 2005, p. 38-46.
- [269] Impacts sanitaires du changement climatique en France. Quels enjeux pour l'InVS Synthèse.
- [270] Peter Schwartz and Doug Randall, « *Abrupt Climate Change* », GBN, octobre 2003 (consulté le 16 février 2010).
- [271] (en) R. Schubert, H. J. Schellnhuber, N. Buchmann, A. Epiney, R. Grieshammer, M. Kulesa, D. Messner, S. Rahmstorf et J. Schmid, « *Climate Change as a Security Risk* », *www.wbgu.de*, 2007 (consulté le 10 décembre).
- [272] Tel est l'objet du programme *Changement environnemental et scénarios de migration forcée (EACH-FOR)*, mené par la Commission Européenne.
- [273] Alex de Sherbinin, Koko Warner, Charles Ehrhart, *les vic-times du changement climatique*, Pour La Science, n° 403, mai 2011, p. 70-75.
- [274] Résolution des Nations unies sur le changement climatique de juin 2009.
- [275] Badie, p. 70 à 76.
- [276] La lutte climatique mobilise les militaires, *Libération*, 13 octobre 2015.
- [277] Le réchauffement climatique n'est pas susceptible de causer des guerres, article du journal *Le Temps*.
- [278] Changement climatique et sécurité : le point de vue aux USA, sur le site *Green et vert*.
- [279] Communiqué de presse, lors du World Energy Outlook 2009, présenté à Londres le 10 novembre 2009.
- [280] World Energy Outlook website.
- [281] (en) Sir Stern Nicolas, Review on the economics of climate change, Gouvernement britannique, novembre 2006 (lire en ligne).
- [282] (en) Reuters, « Climate Expert Stern Says Underestimated Problem », *Planetark.com*, 17 avril 2008 (consulté le 12 août 2008).
- [283] (en) Atelier international de travail sur les polluants à courte durée de vie et le climat de l'Arctique, Oslo, Institut norvégien de recherche sur l'air (NILU), 5-7 novembre 2007 (lire en ligne) Il est conclu que réduire les polluants à courte durée de vie (méthane en particulier) serait quasi-immédiatement efficace sur la fonte de l'arctique.
- [284] To Those Influencing Environmental Policy But Opposed to Nuclear Power. Dr. Ken Caldeira, Senior Scientist, Department of Global Ecology, Carnegie Institution. Dr. Kerry Emanuel, Atmospheric Scientist, Massachusetts Institute of Technology. Dr. James Hansen, Climate Scientist, Columbia University Earth Institute. Dr. Tom Wigley, Climate Scientist, University of East Anglia and the National Center for Atmospheric Research.
- [285] Sans nucléaire on fait comment ?.
- [286] (fr) « *Synthesis Report* » (Archive • Wikixix • Archive.is • Google • Que faire ?), consulté le 26 mars 2013.
- [287] (fr) « *Assessment Report* », GIEC groupe II, 4<sup>e</sup> rapport, p. 37, 2007.
- [288] Texte de la Convention, site UNFCC.
- [289] Article 4.2 (b) : Article 4 de la Convention, site UNFCC.
- [290] les parties s'engagent seulement à prendre les mesures nécessaires pour les atteindre (Article 4.2 (a), ces engagements devant être révisés par la 1<sup>re</sup> conférence des parties (Article 4.2 (d)).
- [291] Le Protocole de Kyoto, site UNFCC consulté le 6 janvier 2014.
- [292] État de la ratification, site UNFCC consulté le 6 janvier 2014.
- [293] Kyoto Protocol, Status of ratification, site UNFCC.



- [294] « Les émissions de CO<sub>2</sub> ont encore augmenté de 3 % en 2007 », Greenunivers (consulté le 24 novembre 2008).
- [295] L'Australie ratifie le protocole de Kyoto sur le site des Échos.
- [296] Développement durable : le CESE répond au mandat donné par le Conseil européen par la création d'un Observatoire.
- [297] « Livre vert de la commission « Adaptation au changement climatique en Europe : les possibilités d'action de l'Union européenne » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), consulté le 26 mars 2013 (EC(2007) 849).
- [298] <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?language=FR&type=IM-PRESS&reference=20080526IPR29898>.
- 24 dé-25 mars 2008. [299] *Limites d'émissions de CO<sub>2</sub> des voitures neuves*, Europa.eu, cembre 2009 (lire en ligne)
- [300] *Proposition de RÈGLEMENT DU PARLEMENT EURO-PÉEN ET DU CONSEIL*, ec.europa.eu.
- [301] « Les enjeux du changement climatique. Quelle gouvernance pour le climat ? » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), consulté le 26 mars 2013 mai 2007.
- [302] <http://www.vie-publique.fr/actualite/alaune/changement-climatique-plan-national-adaptation.html>.
- [303] .
- [304] Source : AIEA.
- [305] *Le Changement climatique - S'adapter pour survivre* EU-ROPE, 22/02/08.
- [306] Conférence des maires américains.
- [307] Climat : Washington et Pékin envoient un signal de bonne volonté, Les Échos, 12 novembre 2014.
- [308] Climat : accord historique sur la fin des gaz HFC pour faire baisser l'effet de serre, Les Échos, 16 octobre 2016.
- [309] Climat : accord historique pour éliminer les gaz HFC, 14 000 fois plus puissant que le CO<sub>2</sub>, Le Monde, 15 octobre 2016.
- [310] (fr) « Les émissions de CO<sub>2</sub> ont encore augmenté de 3 % en 2007 » (Archive • Wikiwix • Archive.is • Google • Que faire ?), consulté le 26 mars 2013.
- [311] Charles-Elie Guzman, « Exxon accusé de crime contre la barrière de corail », sur *up-magazine.info*, 23 août 2016.
- [312] (en) Voir sur *unfccc.int*.
- [313] *Greenhouse Gases Threaten Public Health and the Envi-ronment / Science overwhelmingly shows greenhouse gas concentrations at unprecedented levels due to human activ-ity*.
- [314] (en) *The Game Changer : New York's Clean Energy Standard and Nuclear Energy*, Huffington Post, 31 août 2016.
- [315] (en) *The New York Clean Energy Standard – A 360 View*, S&P Global Market Intelligence, 8 septembre 2016.
- [316] IAEA - PRIS - Country statistics - People's republic of China - 25/03/2014.
- [317] EurObserv'ER Baromètre éolien 2013 (février 2014).
- [318] [PDF] Observ'ER La production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde - 15<sup>e</sup> inventaire - édition 2013 - chapitre 2 - aperçu des dynamiques régionales par filière, consulté le 5 février 2014.
- [319] (en) *A Snapshot of Global PV 1992-2013*, site IEA-PVPS, mars 2014.
- [320] (en) *Solar Heat Worldwide* (voir page 9), IEA - Solar Heating and Cooling Programme, juin 2014.
- [321] Alexis Brézet, « Méchants Chinois ! », *Le Figaro*, Europa.eu, cembre 2009 (lire en ligne)
- [322] <http://www.aujourdhuilachine.com/actualites-chine-l-avenir-de-l-electricite-en-chine-passe-par-les-ampoules-b.asp?1=1>.
- [323] <http://www.journalauto.com/lja/article.view/13926/l-electrique-revient-au-premier-plan-en-chine/6/services>.
- [324] (en) *Decarbonizing Development : Planning Ahead for a Future with Zero Emissions*, Banque mondiale, 2015.
- [325] « La Chine, premier pollueur mondial devant les Etats-Unis », *La Tribune*, 26 septembre 2008.
- [326] Total PIB 2006, Banque mondiale.
- [327] (en) Michael Casey, « China : US should take lead on cli-mate », *Associated Press*, 12 juillet 2007.
- [328] Yves Miserey, « CO<sub>2</sub> : les statistiques chinoises sont fausses », *Le Figaro*, 10 juin 2012.
- [329] (en) Somini Sengupta, « Glaciers in Retreat », *The New York Times*, 17 juillet 2007.
- [330] (en) « Chinese object to climate draft », BBC, 1<sup>er</sup> mai 2007.
- [331] (en) Steven Mufson, « In Battle for U.S. Carbon Caps, Eyes and Efforts Focus on China », *The Washington Post*, 6 juin 2007.
- [332] Que pouvons-nous émettre comme CO<sub>2</sub> si nous voulons lutter efficacement contre le réchauffement climatique ?
- [333] À quoi ressemblerait un monde « énergétiquement vert-tueux » ?
- [334] *Une vérité qui dérange*, film documentaire basé sur une conférence d'Al Gore (site).
- [335] *L'Allemagne, les vacances et le CO<sub>2</sub>*, Cécile Calla, Le Monde du 10 mars 2007, citant Manfred Stock.
- [336] Faut-il souhaiter la croissance du trafic aérien ?
- [337] « Car Labelling Ademe : Comparateur des véhicules neufs (énergie, CO<sub>2</sub>, polluants ...) », sur *ADEME* (consulté le 11 juillet 2015)

- [338] <http://www.iddri.org/Projets/Club-d-ingenierie-prospective-energie-et-environnement-%5BCLIP%5D>.
- [339] [http://www.iddri.org/Publications/Les-cahiers-du-CLIP/Clip21\\_modes%20de%20vie%20prospective%202050.pdf](http://www.iddri.org/Publications/Les-cahiers-du-CLIP/Clip21_modes%20de%20vie%20prospective%202050.pdf).
- [340] Emmanuelle Raynaud, Florence Depoers, Caroline Gauthier, Jean-Pascal Gond, Grégory Schneider-Maunoury, *Le développement durable au cœur de l'entreprise : pour une approche transversale du développement durable*.
- [341] La croissance économique « fait-elle de l'effet de serre » ? paragraphe Que peut-on espérer de la « dématérialisation de l'économie » ?
- [342] (en) "Chiefs of State and Cabinet members of foreign governments", CIA.
- [343] Encyclique *Laudato si'* sur la sauvegarde de la maison commune
- [344] *Laudato si'*, n° 9
- [345] Un temps pour la Création 2016
- [346] Conseil œcuménique des Églises, Jeûne pour le climat
- [347] (en) Survey : Scientists Agree Human-Induced Global Warming is Real, UIC News Release, 19 janvier 2009, consulté le 14 février 2010.
- [348] (en) IPCC:Organization, Intergovernmental Panel on Climate Change, 21/1/2009.
- [349] Stéphane Foucart, « Les climatosceptiques qui valaient des milliards », *Le Monde*, 2 janvier 2014 (lire en ligne).
- [350] Voir sur [business.timesonline.co.uk](http://business.timesonline.co.uk).
- [351] Vidéo de *Climat en crise*.
- [352] (fr) .
- 4<sup>e</sup> rapport de synthèse du GIEC, en anglais : (en) « Climate Change 2007 : Synthesis Report », Giec, 2007 (les n° de page sont ceux du format pdf)
- [1] p. 12.
- [2] p. 8.
- [3] p. 15.
- [4] p. 36.
- [5] p. 17.
- [6] p. 95.
- [7] p. 23.
- [8] p. 24.
- [9] p. 48.
- 4<sup>e</sup> rapport de synthèse du GIEC, en français : « Changements climatiques 2007 : Rapport de synthèse », Giec, 2007 (les n° de page sont ceux du format pdf)
- [1] p. 49 : « L'essentiel de l'élévation de la température moyenne du globe observée depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle est très probablement attribuable à la hausse des concentrations de GES anthropiques. Cette constatation marque une progression par rapport à la conclusion du troisième Rapport d'évaluation, selon laquelle l'essentiel du réchauffement observé au cours des cinquante dernières années est probablement dû à l'accroissement de la concentration de GES ». Le même texte, p. 37, précise les termes utilisés pour indiquer le degré de certitude estimée, selon les experts, d'une donnée ou d'un résultat : « pratiquement certain (probabilité supérieure à 99 %) ; extrêmement probable (probabilité supérieure à 95 %) ; très probable (probabilité supérieure à 90 %) ; probable (probabilité supérieure à 66 %) ; plus probable qu'improbable (probabilité supérieure à 50 %) ; à peu près aussi probable qu'improbable (probabilité de 33 % à 66 %) ; improbable (probabilité inférieure à 33 %) ; très improbable (probabilité inférieure à 10 %) ; extrêmement improbable (probabilité inférieure à 5 %) ; exceptionnellement improbable (probabilité inférieure à 1 %) ». Ainsi, l'estimation du rôle probable de l'homme dans le changement climatique a augmenté entre 2001 et 2007, puisque dans le rapport de 2001, ce rôle n'était qualifié que de *probable (likely)*. Cf. *ipcc.ch*.
- [2] p. 3 et 5.
- Rapport rédigé par le groupe de travail n° 1 du GIEC, publié en 2007 (4<sup>e</sup> rapport) (les n° de page sont ceux du format pdf)
- [1] Chapitre 2, lire en ligne, p. 139 : *Thus, as shown in Prentice et al. (2001), when CO<sub>2</sub> from fossil fuel combustion enters the atmosphere, the 13C/12C isotopic ratio in atmospheric CO<sub>2</sub> decreases at a predictable rate consistent with emissions of CO<sub>2</sub> from fossil origin. Note that changes in the 13C/12C ratio of atmospheric CO<sub>2</sub> are also caused by other sources and sinks, but the changing isotopic signal due to CO<sub>2</sub> from fossil fuel combustion can be resolved from the other components (Francey et al., 1995). These changes can easily be measured using modern isotope ratio mass spectrometry, which has the capability of measuring 13C/12C in atmospheric CO<sub>2</sub> to better than 1 part in 10<sup>5</sup> (Ferretti et al., 2000). Data presented in Figure 2.3 for the 13C/12C ratio of atmospheric CO<sub>2</sub> at Mauna Loa show a decreasing ratio, consistent with trends in both fossil fuel CO<sub>2</sub> emissions and atmospheric CO<sub>2</sub> mixing ratios (Andres et al., 2000 ; Keeling et al., 2005).*
- [2] Chapitre 7, lire en ligne, Frequently Asked Question 7.1, p. 512 *Are the Increases in Atmospheric Carbon Dioxide and Other Greenhouse Gases During the Industrial Era Caused by Human Activities ? Yes, the increases in atmospheric carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and other greenhouse gases during the industrial era are caused by human activities.*
- [3] « Summary for Policymakers », lire en ligne p. 16 : *Since the TAR, there is an improving understanding of projected*

*patterns of precipitation. Increases in the amount of precipitation are very likely in high latitudes, while decreases are likely in most subtropical land regions (by as much as about 20% in the A1B scenario in 2100, see Figure SPM.7), continuing observed patterns in recent trends.*

Frédéric Denhez, Atlas du réchauffement climatique, 2007 et son supplément : La France en 2100 (voir dans la bibliographie)

- [1] p. 40-41.
- [2] p. 54-55.
- [3] supplément, passages II-III.
- [4] supplément, passages IV-V.
- [5] supplément, passage VI.
- [6] supplément, passage VII.
- [7] p. 52-53.
- [8] p. 60-61.

Dossier **Pour la Science**, « Climat, comment éviter la surchauffe ? », janvier-mars 2007 (voir dans la bibliographie)

- [1] Fabrice Chauvin et Jean-François Royer, *L'intensité des cyclones augmente-t-elle ?*, p. 35-38.
- [2] Christian Vincent et Delphine Six, *Les glaciers de montagne sont-ils menacés ?*, p. 28-29.
- [3] Jean-Marc Moisselin et Brigitte Dubuisson, *Coup de chaud sur la France*, p. 30-33.
- [4] Bernard Seguin, *L'agriculture en Europe sous un climat plus chaud*, p. 52-55.
- [5] Jérôme Weiss, *Recul des banquises et réchauffement climatique*, p. 26-27.
- [6] Paul Epstein, « Les risques de prolifération des maladies », p. 40-45.
- [7] Jean-Pierre Besancenot, *Chaud devant, nos organismes soumis au réchauffement*, p. 46-47.

Cet article est partiellement ou en totalité issu de l'article intitulé « Projection climatique » (voir la liste des auteurs).



Portail de l'environnement



Portail des sciences de la Terre et de

l'Univers  Portail de l'écologie



Portail de la météorologie



Portail de l'énergie

La version du 14 août 2008 de cet article a été reconnue comme « **bon article** », c'est-à-dire qu'elle répond à des critères de qualité concernant le style, la clarté, la pertinence, la citation des sources et l'illustration.

## 12 Sources, contributeurs et licences du texte et de l'image

### 12.1 Texte

**Réchauffement climatique** Source : [https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9chauffement\\_climatique?oldid=135791987](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9chauffement_climatique?oldid=135791987) Contributeurs : Anthere, Olrick, FvdP, Ryo, Didup, Looxix, Dirac, Orthogaffe, Céréales Killer, Kelson, Semnoz, Ggbb, Alno, Dilbert, Herman, Hashar-Bot, Abrahami, R, Gem, Zubro, Maggic, Koyuki, Lolow, Jd, P-e, Former user 1, Emmanuel legrand, Deelight, Manchot, Sebjard, Thier-ryc-frwiki, Denis Dordogne, Spedona, Spooky, Jastrow, Sanao, Phe, Marc Mongenet, MedBot, Buggs, Versgui, Sam Hocevar, VIGNERON, Oblic, TigH, Phe-bot, Airelle-frwiki, Turb, Smily, Bibi Saint-Pol, Domsau2, Wagner51, ~Pyb, Urban, Kōan, Hégésippe Cormier, Xate, Touriste, Escaladix, Valérie75, JohnD, O. Morand, Hesoneofus, The RedBurn, Fplanha, Berru, Korrigan, Eskimo, Jef-Infojef, Darkoneko, Bradipus, Z653z, Theon, Korr, Chris a liege, PivWan, Pixeltoo, Gasche, Arflam, Nicolas Ray, Criric, Labé, Deansfa, Leag, Wku2m5rr, Erasmus, Mmenal, Bob08, STyx, JeanClem, Alencon, Denis2nice, Jmh2o, Benjamin Pineau, Faager, Marcoo, Koko90, Pabix, Poulos, Caerbannog, Emirix, Laurent75005, Sherbrooke, BrightRaven, Padawane, Chris93, Laurent Jerry, Mirgolth, Ben1979, L'amateur d'aéroplanes, Pallas4, Raminagrobis, DocteurCosmos, Riba, Wart Dark, Bluesham, Gede, Angeldream, JKHST65RE23, Chobot, Holycharly, Stéphane33, Gribeco, Ludo29, Fimac, Mbtz, Stanlekub, Taguelmoust, Bokken, Like tears in rain, Zetud, Palica, Vazkor, Romanc19s, David Berardan, Probot, Kilom691, Inisheer, Thomasdarde, A3nm, Arnaud.Serander, Calimo, EyOne, Gzen92, Solensean, Coyau, Robot-Quistnix, FlaBot, Droopy nico, Necrid Master, Atchoum, Ultragothe, Alexandref, Nicolas Lardot, EDUCA33E, YurikBot, Triton, Poppy, Horowitz, Germ, Eskimbot, Mokarider, Zeld, Medium69, Verpin, Guillom, Jerome66, BMR, Sand, AvatarFR, MMBot, Litlok, Tou-toune25, Bouette, Felipeh, Moez, Neleugrek, PoM, CHEFALAIN, Chaps the idol, Loveless, Mainguy, Steff, KuSh, Et caetera, Christine L, Cyberugo, Theone256-frwiki, Le gorille, Lpele, Imago-frwiki, Raizin, Lucien Duval, Atilin, Julianedm, Reelax, Mutatis mutandis, Me-lancholieBot, Shawn, Lionel sittler, Markov, Bouligab, Croquant, Malosse, Oxo, Hexasoft, Moulins, Roucas, Mutichou, Boretti, BeatrixBe-libaste, TuSex, Lithium57, Sum, Cehagenmerak, Chtit draco, Jrcourtois, Puff, Freewol, Pautard, Raphaelclaustre, Bigi111, Dosto, Fabrice Ferrer, Kemkem french, Kuri2006, Limmt, Sylenius, Lanredec, Astirmays, Esprit Fugace, Olmec, Loudubewe, Ben Siesta, Pierre cb, Cle-mentine-frwiki, Dr.mbl, Malost, Manu1400, Malta, Lamiot, Olivierdanielo, Moumousse13, Ahbon ?, Tibauk, AntonyB, Liquid-aim-bot, Milord, Rominandreu, Gaalexandre, Hpm, Gemini1980, Gronico, Linan, Djibe89, Stephane.lecorne, Ysidlo, Apollofox, Captainm, BD2412, Nag, Aridd, HaF, Bigom, Coccico2345, Pippobuono, Macassar, Damameri, Laurent Levesque, Sylvain rodrigue, Grimlock, Jarfe, A2, En passant, Albinflo, FredD, Elnon, Legrosbaumé, Bombastus, Trex, Treehill, Cyberic71, Lilliputien, Laurent Nguyen, Kropotkine 113, Ré-mih, Andromeda, Le Pied-bot, JAnDbot, Pichasso, BOT-Superzerocool, Calcineur, Arkanosis, Clem23, Humain, Zedh, Sylvainr, Chtfn, Franck saint germain, Botz, lAflex, Auxerroisdu68, Nono64, Sebleouf, Dfeldmann, Van Rijn, Zawer, CommonsDelinker, P.B, Ephore, Erabot, Eybot, Eiffele, Ramwish, Helleborus, VonTasha, Tristan MF, ABelgodere, Jaczewski, McSly, Analphabot, PAULOM, Alerte, PimpBot, DemolitionToys, Dinolandia, Catskingloves, Salebot, Bot-Schaffer, Nebula38, Akeron, Speculos, Walpole, Vi.Cult..., Levovichik, Brunodlubak, Fuucx, Jacksanstete, GrahamHill, Holztim, Gaiapolis, Yf, Idioma-bot, WarddrBOT, TXiKiBoT, Environnement2100, Tooo-ny, Bapti, VolkovBot, Srcmax, Céphide, Theoliane, BlueGinkgo, Lev Davidovitch Bronstein, Nanoxyde, 20ce, Leguil, Capuceetpicot, Papa Ours, Evpok, Godix, Moyg, Pirlout, ChLenclud, Synthebot, Blub, Pbtotgourou, Thejoker31, Cjp24, Felicien.breton, Gz260, Tonymaina-ki, Boulbi1, Chmlal, Xic667, Rédacteur Tibet, Timmy666, Pascal Boulerie, Yannledu, SieBot, Binabik, SuperHeron, Louperibot, Shak-ki, Tripleandouille, Arpa463x, ZX81-bot, Epée, Olivier444, AkeronBot, Jeangagnon, Olivier Tanguy, Chphe, MystBot, Punx, Pymouss, JLM, Freeman1, Cebelab, Popol 1d, Kyro, Wanderer999, OKBot, Salmoneus, Black31, BMsciences, Ange Gabriel, Alecs.bot, Lepsyleon, Garfieldairlines, Vlaam, Dhatier, Michel421, Hercule, Rawet05, SiftingJeff, ALDO CP, Thontep, DumZiBoT, DeepBot, BraceRC, Mil-ky2, Ir4ubot, Marion Touvel, Moreraph, Sardur, Balougador, Trimégiste, Francis Vergne, Welovermix, ZiziBot, Skippy le Grand Gourou, BOTarate, Gawar, Superjuju10, Kvik kvik, Juju Gogol, JPS68, Splbeso, Skywar, Mro, Xavxav, Alterac, Rical, Zonzon, Jailen, Singeot, HerculeBot, Pevos, WikiCleanerBot, Maurilbert, Chalmont, Letartean, ZetudBot, Iddri, MicroCitron, Ggal, Albambot, Ehannezo, Jmp48, Bub's wikibot, Guillaume70, Max Puissant, Polluks-frwiki, Ghislain Montvernay, Cartedd, Tangoman, Elfix, Ccmpg, Obscurs, Jerome234, Shinkolobwe, Bserin, Roger miot, JackPotte, Harmonia Amanda, JeanBono, VERTACO38, Séraphin 01, Breakthru, CarsracBot, Herr Satz, Abujoy, Géodigital, LinkFA-Bot, PS11, Infoscience, Luckas-bot, Jojodesbatignoles, Tibo217, Fbreuil, Totodu74, Micbot, Byrd, Nallim-bot, ABACA, Jotterbot, GrouchoBot, Nakor, Moipaulochon, Demesure, TaBOT-zerem, Rdurbesson, Pihoute, Quentin80, Patrice78500, ArthurBot, D4m1en, JamousMarc, Soren56, Roli1983, Xqbot, Jacren, Melina4444, Biem, JackBot, EpobBot, MOSSOT, Alex-F, Etri-comed, Lafaek, Patatosauere, \*SM\*, Skull33, Al Maghi Bot, Touam, FESTM, Actarus Prince d'Euphor, Peitho, Awkiku, Coyote du 57, Lomita, Xiglofre, Orlodrim, Wadi3, TobeBot, RedBot, Universaliste, Super Bazooka, Gallimard, Gkml, Wingdingding, 8===D, The Titou, David.nguyen, Visite fortuement prolongée, ThF, Bobodu63, TjBot, Fernande06, Frakir, Lebrouillard, EmausBot, Salsero35, Jereemy, Ediacara, Kilith, EoWinn, Pmauduit, JackieBot, Gyrostat, TuHan-Bot, AntonyB-Bot, Topeil, Flocondeneige55, Les3corbiers, Marc-André Beauchamp, Jules78120, Cardabela48, Qwerty12345, Eros16eden, Trunkdu92, Jpjanuel, Pablo Picossa, Hunsu, 0x010C, BIATCHDU84, SenseiAC, Haugure, MerllwBot, Neatnik, Gugen, OrlodrimBot, Le pro du 94 :), Lucastristan, AvicBot, AvocatoBot, Pano38, Ccourouve, Lydie Noria, 5053PM, Audreyfg, Mathis B, Mikiburger, FDo64, Pablo029, Titlutin, Sylvain59, Pelinguin, Panottaken, Cucufa, Beijing-wiki2, Gdelayg, SyntaxTerror, Enrevseluj, Lebronj23, Makecat-bot, Rome2, Clouso, Guillak, Viator, Houtersterdam, QuentinGeo, Addbot, Gratus, Bastenbas, Mathis972, Bernardo188, Apollinaire93, Sismarinho, JeffMik1, BerAnth, Copiecouster, Stahlklang, Alex Dobro, Iniți, Thibaut120094, ScoopBot, LaNuitDeFete, Henrimatissse58, NB80, EtiennekdBot, Kyfu, Arcyon37, Moon rabbit 365, Dovakhill, Archi-bot, Stephane0, Le chat de tom, Do not follow, Roudoudou28, Hibolites, Antoniex, Fugitron, RobokoBot, Abcdefg68, Nique ta mere fdp, Ency-Writer, Kiwipidae, Un Fou, 21h54, Gzen92Bot, Stewi101015, Suicide99, Saguameau, Géoaméricain, Agglod, Sidonie61, Quentin STV, Boltes Ferolet, Chloe030915, Drageance et Anonyme : 708

### 12.2 Images

**Fichier:10\_pays\_emissions\_C02\_2006.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/10\\_pays\\_emissions\\_C02\\_2006.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/10_pays_emissions_C02_2006.svg) Licence : Public domain Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Urban

**Fichier:2000\_Year\_Temperature\_Comparison\_fr.png** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/56/2000\\_Year\\_Temperature\\_Comparison\\_fr.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/56/2000_Year_Temperature_Comparison_fr.png) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : GWA[1] Artiste d'origine : GWA[2]

**Fichier:2007\_Arctic\_Sea\_Ice.jpg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f0/2007\\_Arctic\\_Sea\\_Ice.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f0/2007_Arctic_Sea_Ice.jpg) Licence : Public domain Contributeurs : NASA, [http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img\\_id=17800](http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img_id=17800) en:NASA Earth Observatory Artiste d'origine : NASA image created by Jesse Allen, using AMSR-E data courtesy of the National Snow and Ice Data (NSIDC), and sea ice extent contours courtesy of Terry Haran and Matt Savoie, NSIDC, based on Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) data.



**Fichier:Climate\_Change\_Attribution\_fr.png** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c8/Climate\\_Change\\_Attribution\\_fr.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c8/Climate_Change_Attribution_fr.png) Licence : CC-BY-SA-3.0  
*Contributeurs* : Global Warming Art[1] *Artiste d'origine* : Robert A. Rohde for global warming art

**Fichier:Crystal\_browser.png** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/52/Crystal\\_browser.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/52/Crystal_browser.png) Licence : LGPL  
*Contributeurs* : All Crystal icons were posted by the author as LGPL on kde-look *Artiste d'origine* : Everaldo Coelho and Yellowlcon

**Fichier:Crystal\_energy.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/14/Crystal\\_energy.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/14/Crystal_energy.svg) Licence : LGPL  
*Contributeurs* : Own work conversion of Image:Crystal\_128\_energy.png *Artiste d'origine* : Dhatfield

**Fichier:Disambig\_colour.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3e/Disambig\\_colour.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3e/Disambig_colour.svg) Licence : Public domain  
*Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Bub's

**Fichier:EarthSimulator.jpg** Source : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/18/EarthSimulator.jpg> Licence : GFDL  
*Contributeurs* : [http://www.flickr.com/photos/manatee\\_tw/3585719603/](http://www.flickr.com/photos/manatee_tw/3585719603/) *Artiste d'origine* : Manatee\_tw

**Fichier:EcartsTempSurface2015.svg** Source : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f0/EcartsTempSurface2015.svg> Licence : CC BY-SA 4.0  
*Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Theon

**Fichier:Emissions\_CO2\_par\_hab\_2006.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4f/Emissions\\_CO2\\_par\\_hab\\_2006.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4f/Emissions_CO2_par_hab_2006.svg) Licence : Public domain  
*Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Urban

**Fichier:Fairytale\_bookmark\_silver.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a0/Fairytale\\_bookmark\\_silver.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a0/Fairytale_bookmark_silver.svg) Licence : CC BY-SA 3.0  
*Contributeurs* : File:Fairytale bookmark silver.png (LGPL) + Travail personnel *Artiste d'origine* : Hawk-Eye

**Fichier:Fairytale\_konqueror.png** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/68/Fairytale\\_konqueror.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/68/Fairytale_konqueror.png) Licence : LGPL  
*Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?

**Fichier:Flag\_of\_Benin.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0a/Flag\\_of\\_Benin.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0a/Flag_of_Benin.svg) Licence : Public domain  
*Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Drawn by User:SKopp, rewritten by User:Gabbe

**Fichier:Flag\_of\_Denmark.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9c/Flag\\_of\\_Denmark.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9c/Flag_of_Denmark.svg) Licence : Public domain  
*Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : User:Madden

**Fichier:Flag\_of\_India.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/41/Flag\\_of\\_India.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/41/Flag_of_India.svg) Licence : Public domain  
*Contributeurs* : `<a href="//commons.wikimedia.org/wiki/Category:Vexillological_symbols" title="↑"></a>` *Artiste d'origine* : User:SKopp

**Fichier:Flag\_of\_Jamaica.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0a/Flag\\_of\\_Jamaica.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0a/Flag_of_Jamaica.svg) Licence : Public domain  
*Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Le code de ce fichier SVG est `<a data-x-rel="nofollow" class="external text" href="//validator.w3.org/check?uri=https%3A%2F%2Fcommons.wikimedia.org%2Fwiki%2FSpecial%3AFilepath%2FFlag_of_Jamaica.svg,&,</span>.ss=1#source">valide</a>`

**Fichier:Flag\_of\_Malta.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/73/Flag\\_of\\_Malta.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/73/Flag_of_Malta.svg) Licence : CC0  
*Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?

**Fichier:Flag\_of\_Nauru.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/30/Flag\\_of\\_Nauru.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/30/Flag_of_Nauru.svg) Licence : Public domain  
*Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : Source : Drawn by User:SKopp

**Fichier:Flag\_of\_New\_Zealand.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3e/Flag\\_of\\_New\\_Zealand.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3e/Flag_of_New_Zealand.svg) Licence : Public domain  
*Contributeurs* : <http://www.mch.govt.nz/files/NZ%20Flag%20-%20proportions.JPG> *Artiste d'origine* : Zscout370, Hugh Jass and many others

**Fichier:Flag\_of\_Oman.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Flag\\_of\\_Oman.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Flag_of_Oman.svg) Licence : CC0  
*Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?

**Fichier:Flag\_of\_Papua\_New\_Guinea.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/Flag\\_of\\_Papua\\_New\\_Guinea.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/Flag_of_Papua_New_Guinea.svg) Licence : Public domain  
*Contributeurs* : Travail personnel, FOTW *Artiste d'origine* : User:Nightstallion

**Fichier:Flag\_of\_Romania.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/73/Flag\\_of\\_Romania.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/73/Flag_of_Romania.svg) Licence : Public domain  
*Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : AdiJapan

**Fichier:Flag\_of\_Sweden.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4c/Flag\\_of\\_Sweden.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4c/Flag_of_Sweden.svg) Licence : Public domain  
*Contributeurs* : This flag is regulated by Swedish Law, Act 1970 :498, which states that "in commercial activities, the coats of arms, the flag or other official insignia of Sweden may not be used in a trademark or other insignia for products or services without proper authorization. This includes any mark or text referring to the Swedish government which thus can give the commercial mark a sign of official endorsement. This includes municipal coats of arms which are registered." <http://www.notisum.se/mp/sls/lag/19700498.HTM> *Artiste d'origine* : Jon Harald Søby and others. All authors are listed in the "File versions" section below.

**Fichier:Flag\_of\_The\_Gambia.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/77/Flag\\_of\\_The\\_Gambia.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/77/Flag_of_The_Gambia.svg) Licence : Public domain  
*Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Vz83

**Fichier:Flag\_of\_Vanuatu.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bc/Flag\\_of\\_Vanuatu.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bc/Flag_of_Vanuatu.svg) Licence : Public domain  
*Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?

**Fichier:Flag\_of\_the\_Solomon\_Islands.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Flag\\_of\\_the\\_Solomon\\_Islands.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Flag_of_the_Solomon_Islands.svg) Licence : Public domain  
*Contributeurs* : Drawn by User:SKopp *Artiste d'origine* : User:SKopp

**Fichier:Flag\_of\_the\_United\_Kingdom.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ae/Flag\\_of\\_the\\_United\\_Kingdom.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ae/Flag_of_the_United_Kingdom.svg) Licence : Public domain  
*Contributeurs* : Travail personnel per data at <http://flagspot.net/flags/gb.html> *Artiste d'origine* : Original flag by Acts of Union 1800

**Fichier:Flux\_carbone\_fr.png** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8a/Flux\\_carbone\\_fr.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8a/Flux_carbone_fr.png) Licence : CC BY-SA 3.0  
*Contributeurs* : common Image:Carbon History and Flux-2.png *Artiste d'origine* : toony

**Fichier:Forcage\_radiatif.png** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/35/Forcage\\_radiatif.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/35/Forcage_radiatif.png) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : English wikipedia. Voir également quatrième rapport du GIEC, [1], p.17 Artiste d'origine : Leland McInnes & IPCC

**Fichier:Glacier\_Mass\_Balance\_Map.png** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/93/Glacier\\_Mass\\_Balance\\_Map.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/93/Glacier_Mass_Balance_Map.png) Licence : CC-BY-SA-3.0 Contributeurs : ? Artiste d'origine : ?

**Fichier:Global\_Warming\_Predictions\_Map\_fr.jpg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0e/Global\\_Warming\\_Predictions\\_Map\\_fr.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0e/Global_Warming_Predictions_Map_fr.jpg) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : GWart[1] Artiste d'origine : GWart[2]

**Fichier:Global\_Warming\_Predictions\_fr.png** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/57/Global\\_Warming\\_Predictions\\_fr.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/57/Global_Warming_Predictions_fr.png) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : GWART Artiste d'origine : GWART

**Fichier:Kilimanjaro\_glacier\_retreat.jpg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1b/Kilimanjaro\\_glacier\\_retreat.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1b/Kilimanjaro_glacier_retreat.jpg) Licence : Public domain Contributeurs : ? Artiste d'origine : ?

**Fichier:Kohlekraftwerk\_Mehrum\_Windräder.jpg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Kohlekraftwerk\\_Mehrum\\_Windr%C3%A4der.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Kohlekraftwerk_Mehrum_Windr%C3%A4der.jpg) Licence : CC BY-SA 2.5 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Crux

**Fichier:Lenoir\_et\_al.\_2010.gif** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b7/Lenoir\\_et\\_al.\\_2010.gif](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b7/Lenoir_et_al._2010.gif) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Sylvain59

**Fichier:North\_Atlantic\_Hurricane\_History.png** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/North\\_Atlantic\\_Hurricane\\_History.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/North_Atlantic_Hurricane_History.png) Licence : CC-BY-SA-3.0 Contributeurs : ? Artiste d'origine : ?

**Fichier:Nuvola\_filesystems\_ftp.png** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5f/Nuvola\\_filesystems\\_ftp.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5f/Nuvola_filesystems_ftp.png) Licence : LGPL Contributeurs : <http://icon-king.com> Artiste d'origine : David Vignoni / ICON KING

**Fichier:Polar\_Bear\_AdF.jpg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3d/Polar\\_Bear\\_AdF.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3d/Polar_Bear_AdF.jpg) Licence : CC BY-SA 4.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Arturo de Frias Marques

**Fichier:Recent\_Sea\_Level\_Rise\_fr.png** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/79/Recent\\_Sea\\_Level\\_Rise\\_fr.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/79/Recent_Sea_Level_Rise_fr.png) Licence : CC-BY-SA-3.0 Contributeurs : Global warming art[1] Artiste d'origine : GWart

**Fichier:Simulation\_et\_mesure\_de\_température.svg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/66/Simulation\\_et\\_mesure\\_de\\_temp%C3%A9rature.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/66/Simulation_et_mesure_de_temp%C3%A9rature.svg) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : d'après le GIEC AR4 [1] page 686 Artiste d'origine : user:toony

**Fichier:Temp-sunspot-co2.svg** Source : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7b/Temp-sunspot-co2.svg> Licence : CC-BY-SA-3.0 Contributeurs : Transféré de en.wikipedia à Commons par Anrie utilisant CommonsHelper. Artiste d'origine : Leland McInnes sur Wikipedia anglais

**Fichier:Temperatures\_âge\_glaciaire.png** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/14/Temperatures\\_%C3%A2ge\\_glaciaire.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/14/Temperatures_%C3%A2ge_glaciaire.png) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : File:Ice Age Temperature.png Artiste d'origine : Robert A. Rohde, traduit en français par SyntaxTerror.

**Fichier:USDA\_windmills.jpg** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b3/USDA\\_windmills.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b3/USDA_windmills.jpg) Licence : Public domain Contributeurs : Cette image a été publiée par l'Agricultural Research Service, l'agence de recherche du Département de l'Agriculture des États-Unis, avec l'identifiant K5474-13 <a class="external text" href="//commons.wikimedia.org/w/index.php?title=Category:Media\_created\_by\_the\_United\_States\_Agricultural\_Research\_Service\_with\_known\_IDs,&,</span>,filefrom=K5474-13#mw-category-media">(suivant)</a>. Artiste d'origine : Scott Bauer, USDA ARS

**Fichier:Variations\_de\_températures\_globales.JPG** Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d6/Variations\\_de\\_temp%C3%A9ratures\\_globales.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d6/Variations_de_temp%C3%A9ratures_globales.JPG) Licence : CC-BY-SA-3.0 Contributeurs : wikipedia english Artiste d'origine : ?

**Fichier:Weather-more-clouds.svg** Source : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/91/Weather-more-clouds.svg> Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Weather-clear.svg Artiste d'origine : Weather-clear.svg : Linuxerist, Millosh

## 12.3 Licence du contenu

Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0