



LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Notre Terre a vu, au cours de millions d'années, ses continents et ses mers changer. Son atmosphère, sa température ont varié de nombreuses fois au cours des temps anciens. Pourtant, la vie d'abord d'infimes bactéries s'est développée jusqu'à permettre à plus de six milliards de terriens d'y vivre. Les développements de population se sont accompagnés d'une nouvelle agriculture et de nouvelles activités industrielles. Les besoins en énergie, l'accumulation de gaz à effet de serre vont-ils menacer, au XXI^e siècle, l'équilibre de notre planète ?

La machine du climat

Qu'est ce qui nous chauffe sur Terre ? Le Soleil bien sûr mais toute son énergie est-elle bien reçue et qu'est-ce qui empêche le rayonnement de s'évader vers le cosmos ?



Remarque

À nos latitudes en Europe et en France, on estime recevoir environ 200 W/m^2 au sol.

Le rayonnement solaire

Sur Terre, nous avons la chance de disposer d'un radiateur rayonnant depuis la nuit des temps : le Soleil. Il envoie, journalièrement, par ses rayons une énergie de 340 watts par mètre carré dans la haute atmosphère.

Nous sentons bien cette chaleur quand nous nous plaçons au Soleil. C'est que dans le rayonnement solaire, il existe à côté du rayonnement visible, des rayons de longueur d'onde que l'on ne voit pas (*Fig. 1*).

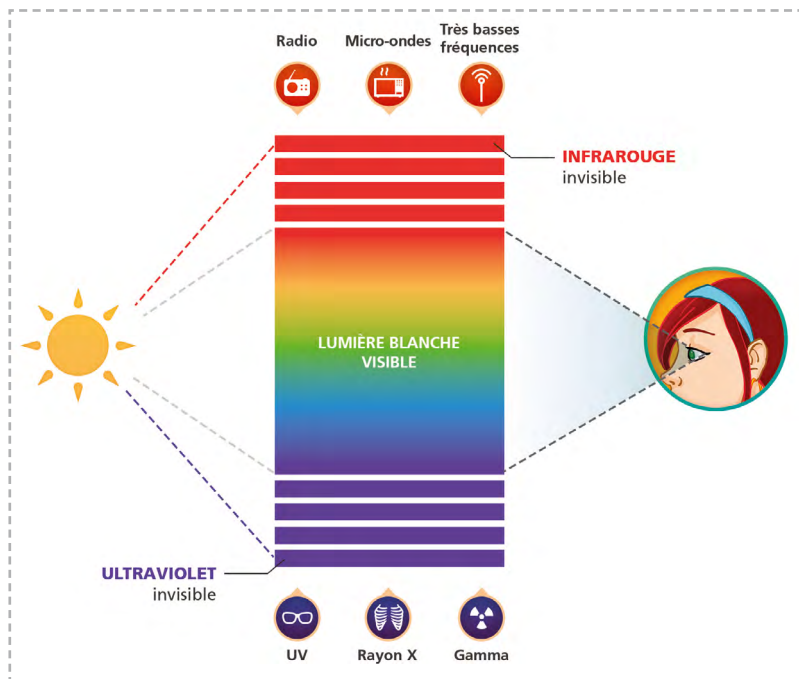


Figure 1

Le rayonnement solaire comprend une partie du rayonnement visible par l'œil humain.

Les UV (ultra-violet) dangereux pour la peau sont filtrés en altitude par l'ozone. L'infrarouge (IR) nous chauffe bien plus en été qu'en hiver et le jour que la nuit.

L'effet de serre

Vous avez déjà remarqué que les nuits où le ciel est clair, sont plus froides que les nuits où le ciel est couvert. Dans la journée, sous le Soleil, le sol accumule de la chaleur qu'il réémet sous forme d'infrarouge la nuit vers la stratosphère. Une partie de cette émission est arrêtée et renvoyée vers le sol par les nuages (constitués d'eau) et d'autres gaz dits à effet de serre.

C'est l'effet de serre qui permet d'avoir une température moyenne sur Terre qui autorise la vie, environ 15 °C. S'il n'y en avait pas, nous aurions très froid, s'il y en avait trop alors la température se dérèglerait et nous aurions trop chaud (Fig. 2).



C'est un peu la même chose qui se passe dans une automobile ou une serre où le Soleil pénètre par les surfaces vitrées mais où les infrarouges sont arrêtés par le toit, ce qui fait monter la température dans la voiture ou dans la serre.



Figure 2

Principe de l'effet de serre.



Les gaz à effet de serre

Ils sont composés de molécules à forte absorption de l'infrarouge :

- l'eau (qui sous forme de glace constitue les nuages) ;
- le dioxyde de carbone CO_2 ;
- le protoxyde d'azote N_2O ;
- le méthane CH_4 ;
- d'autres composés dont les aérosols qui sont d'origine naturelle (le sable, le sel) ou artificielle (suie, sulfates).

Tous ces gaz ont des teneurs très différentes qui vont de quelques centaines de ppm (partie par million) à quelques centaines de ppb (partie par milliard) (Tab. 1).

Tableau 1 Comparaison de la teneur de gaz à effet de serre dans l'atmosphère actuelle et en 1800.

Gaz	% atmosphère actuelle	% atmosphère en 1800
CO_2	400 ppm	280 ppm
CH_4	1790 ppb	700 ppb
N_2O	330 ppb	270 ppb
CFC, HCFC	0,400 ppb	/



Ces constituants de l'atmosphère vont déterminer l'équilibre entre l'énergie qui est absorbée par notre planète et celle qui est émise vers l'espace. C'est le « forçage radiatif » qui est l'équilibre entre le rayonnement solaire entrant et les émissions de rayonnement infrarouge sortant de l'atmosphère. Une partie de l'énergie émise par le soleil pénètre jusqu'au sol et le chauffe. À son tour, le sol émet de l'énergie par rayonnement infrarouge mais il n'y a que 15 à 30 % qui sont renvoyés vers le cosmos car une part importante est absorbée par les nuages et les gaz à effet de serre et peut contribuer au réchauffement de la planète.

Les variations du climat au cours des âges

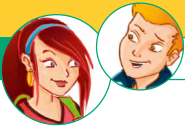
Comment peut-on connaître le climat qui régnait sur Terre il y a 500 000 ans ? La glace des pôles est l'archive des neiges qui tombaient il y a des milliers d'années. Les géologues et les géochimistes arrivent à analyser l'eau qui composait cette neige et remontent aux variations étonnantes du climat.

De même, les historiens pour le dernier millénaire, en retrouvant les archives papier, nous disent comment était le climat, enfin depuis l'ère industrielle pour le XX^e siècle, un réchauffement de la planète semble se faire jour.

L'eau et sa vapeur, indices de la température

L'eau comporte 99 % de molécules H_2O , mais elle compte aussi de toutes petites quantités de molécules composées d'un isotope de l'hydrogène le deutérium D de masse atomique 2 au lieu de 1 pour l'hydrogène et d'un autre isotope H_2O^{18} où l'isotope O^{18} de l'oxygène est plus lourd que l'oxygène normal O^{16} .

Dans la vapeur d'eau, à haute température, on trouve plus d'isotopes lourds que dans la vapeur d'eau à basse température. Si, par analyse de spectrométrie de masse, on arrive à trouver le rapport d'isotopes O^{18}/O^{16} , on peut remonter à la température à laquelle a été émise la vapeur



Remarque

Les isotopes d'un même élément chimique possèdent le même nombre d'électrons et de protons, mais un **nombre différent de neutrons dans le noyau**. Ils ont donc une masse M atomique différente. Ici pour l'eau H_2O^{16} : $M = 18$, HDO^{16} : $M = 19$, H_2O^{18} : $M = 20$.

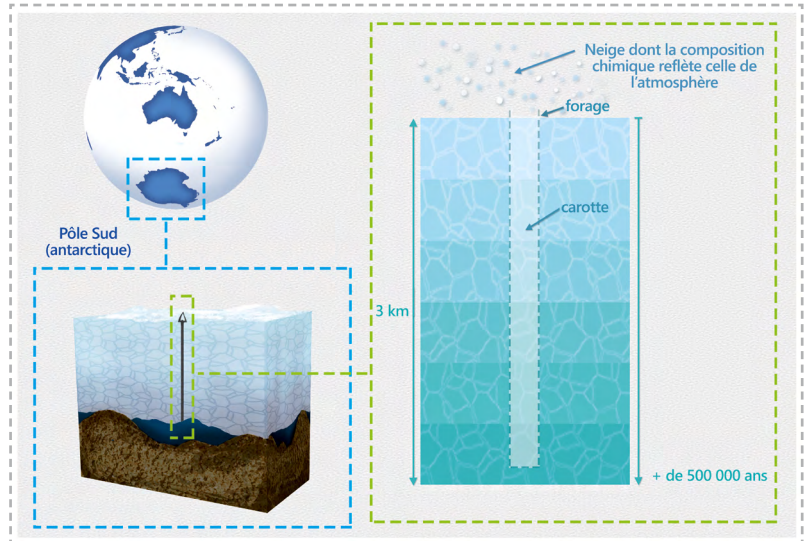
d'eau. Si on a la chance de trouver de la glace vieille de 100 000 ans et si on analyse cette eau gelée, on trouvera alors la température de cette époque.

L'analyse des carottes glaciaires et les paléoclimats

Sur le continent antarctique (pôle Sud) la température moyenne est de -55°C et il tombe à peu près 20 cm de neige par an, et comme elle ne fond jamais, elle s'accumule sur des kilomètres de profondeur depuis des milliers d'années. Les cristaux de neige ont la composition en isotopes de la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère il y a des milliers d'années.

Des missions internationales de géologues ont réussi à creuser et forer ces montagnes de glace (Fig. 3) et à remonter des échantillons sous formes de cylindres issus de différentes profondeurs jusque – 3000 mètres qu'on appelle « carottes de glace ». Bien conservées au froid elles sont les témoins de la neige tombée depuis plus de 500 000 ans.

Figure 3
Principe de la carotte glaciaire.





Les résultats des analyses de la glace

Les géochimistes ont analysé la glace de ces carottes (Fig. 4) :

- en déterminant les rapports isotopiques O^{18}/O^{16} de la glace des carottes issues de différentes profondeurs. Ils ont remonté jusqu'aux températures de l'atmosphère des différentes époques ;
- en analysant les petites bulles d'air emprisonnées entre les flocons de neige compressée des carottes. Ils ont chiffré la teneur en gaz carbonique CO_2 et des autres gaz à effet de serre (NO_2 et CH_4).

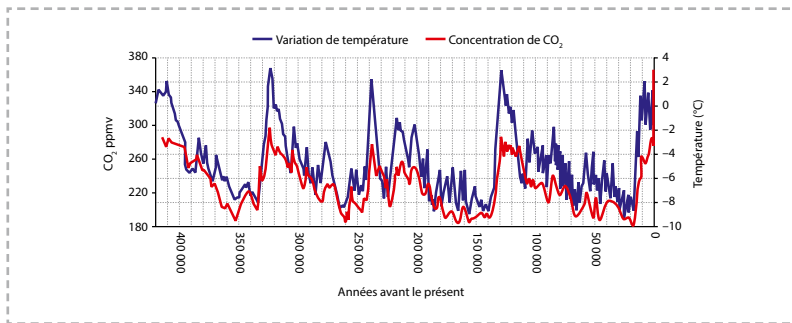


Figure 4

Analyses des données issues des carottes de glace de l'Antarctique.

La *figure 4* montre les résultats de ces analyses. En bleu, on a tracé l'écart de température autour d'une valeur moyenne allant de +2 à -8 °C, et en rouge la teneur en CO_2 de l'atmosphère.

Ces résultats sont fantastiques car ils montrent que depuis 400 000 ans ont alterné :

- des périodes de glaciation (-8 °C) où par exemple l'Europe était entièrement recouverte de glace ;
- des périodes chaudes (+2 °C) où toute la glace est fondue et les continents découverts et végétalisés sinon cultivés.

Un cycle s'est alors formé où tous les 100 000 ans se succèdent : une période chaude avec une teneur en CO_2 de l'atmosphère de l'ordre de 300 ppm puis une période très froide où la teneur de l'atmosphère n'est que de 200 ppm.

Les géologues montrent, de plus, qu'à chaque glaciation et réchauffement, le niveau des mers peut varier de plus de 100 mètres.

En 2016 nous sommes au sommet d'une période d'interglaciation (courbe bleue), avec cependant une teneur de l'atmosphère en CO_2 de 400 ppm qui n'a jamais été atteinte.



Le climat des derniers millénaires

Comment mesurer la température sur des périodes moins anciennes comme pour le dernier millénaire, le thermomètre n'ayant été inventé qu'au XVII^e siècle ? Les climatologues et les historiens ont dû trouver d'autres moyens comme :



La dendrochronologie : il s'agit de l'étude

des cernes et des anneaux des arbres. Quand un arbre pousse, son tronc s'élargit en fonction du temps, de la température, des pluies, etc. Il grossit plus ou moins. La largeur des anneaux est proportionnelle à ce qui lui a permis de grossir durant l'année, c'est un témoin des saisons et du climat.

- l'analyse des carottes de glace non plus aux pôles mais celles prélevées sur les grands glaciers montagneux comme ceux des Alpes ou de l'Himalaya ;
- la dendrochronologie qui étudie les cernes des arbres en anneaux de largeur plus ou moins grande en fonction des saisons, de la température et de l'humidité ;
- les archives et les écrits laissés par les villes, les paroisses, et les particuliers relatant la date des récoltes, des vendanges et leur abondance ou leur faible rendement.

Figure 5

Différentes méthodes pour retracer les climats anciens.



Remarque

Le premier véritable thermomètre aurait été inventé à Florence en 1654 par le grand-duc de Toscane, il s'agissait d'un instrument à alcool. L'invention des thermomètres modernes est attribuée au physicien allemand Daniel Gabriel Fahrenheit. En 1717, il remplace l'alcool par du mercure.



Deux exemples sont donnés dans les encarts ci-après.



Les archives écrites

Les historiens qui étudient les archives écrites depuis l'Antiquité ont mis en évidence les variations de température sur des périodes de notre ère en Europe, comme un petit âge glaciaire du XIV^e au XIX^e siècle et aussi vers l'an 1000 durant deux siècles une période chaude (plus chaude qu'actuellement) appelée « optimum médiéval ». Les archives religieuses et notamment les registres paroissiaux qui enregistraient les déficits de naissances et excès de décès sont révélateurs des phénomènes climatiques extrêmes. Les processions pour cause climatique sont nombreuses, par exemple la grande procession de Notre-Dame de Paris « pro pluvia » en 1694 est caractéristique de l'extrême sécheresse qui sévit fin XVII^e siècle en Europe. À partir de la seconde moitié du XVII^e siècle, les progrès de l'instrumentation scientifique, la création de l'Académie royale en France en 1780, la création de la société européenne de météorologie ont multiplié les observations météorologiques qui permettent de reconstituer le climat du passé. Elles rapportent les inondations de 1787 qui donnent de faibles récoltes de blé et le froid extrême de 1788 qui ruine les semis, le prix extrême des grains et la pénurie de pain qui en résulte en France peut expliquer en partie la révolution de 1789.

Les glaciers des Alpes

Le glacier d'Altech a montré des avancées et retraits qui ont accompagné l'optimum de l'âge de bronze, l'âge glaciaire du fer, l'optimum médiéval et le petit âge glaciaire de 1320 à 1850 sans oublier les effets des éruptions catastrophiques volcaniques qui se sont traduites par un refroidissement soudain de quelques années. L'observation du glacier d'argentière en 1850 et en 1967 montre la différence très importante entre la fin du petit âge glaciaire et la période de réchauffement que nous connaissons. L'histoire raconte qu'en 1850 les paroissiens d'Argentière organisèrent une grande procession pour que le glacier ne progresse plus car il allait détruire le village... le changement climatique les exauça !

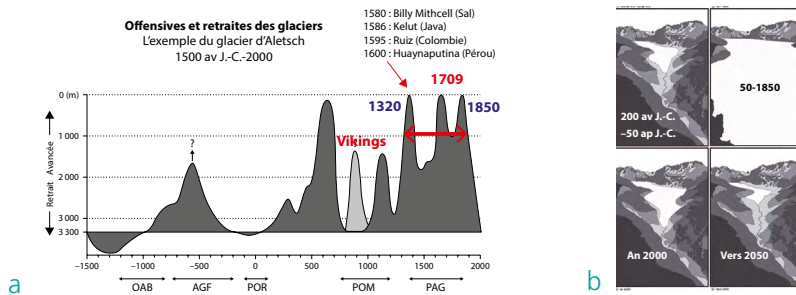


Figure 6

a) La frise chronologique des fluctuations du glacier d'Aletsch.

OAB : Optimum Âge du Bronze, AGF : Âge Glaciaire du Fer, POR : Petit Optimum Romain, POM : Petit Optimum Médiéval, PAG : Petit Âge Glaciaire. b) Phases et progression ou de recul des glaciers d'Aletsch.

Source : Garnier E., *Les dérangements du temps, 500 ans de chaud et froids en Europe*, Paris, Plon, 2010.



L'optimum climatique médiéval

correspond à une période de l'histoire, entre le X^e et le XIV^e siècle, qui fut inhabituellement chaude.



Remarque

Ces émissions accompagnent évidemment l'accroissement de population sur notre planète (un milliard en 1850 et six milliards en 2010), mais aussi le développement industriel des pays de l'Est et d'Asie.

La période récente

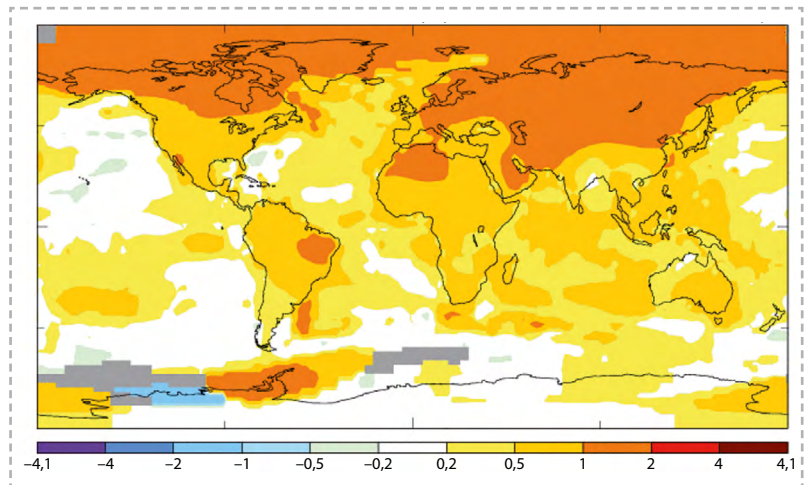
Après 1850 et le petit âge glaciaire, commence ce que l'on appelle la révolution industrielle qui est celle de l'accès à l'énergie pas chère et illimitée. Les machines à vapeur et machines électriques remplacent l'homme et le cheval. Le bois fait place au charbon, pétrole et gaz. Mais si cette évolution apporte un développement des richesses plus fort en un siècle qu'au cours des 2 millénaires précédents, la combustion de ces ressources fossiles dégage les gaz d'effet de serre et en particulier le CO₂.

Les études montrent clairement qu'entre 1800 et 2015, le gaz carbonique, le méthane et les oxydes d'azote ont nettement augmenté. Les analyses indiquent que ces augmentations sont imputables à 80 % à l'usage des combustibles fossiles qui s'est accéléré au cours des dernières décennies.

La conséquence est une augmentation globale de la température de l'ordre de 0,8 °C depuis 1850 qui se répercute différemment suivant les régions et les latitudes.

Figure 7

Réchauffement à travers le monde entre les périodes (1951-1980) et (1997-2012) : des changements observés en accord avec les prévisions donnent des preuves incontestables du phénomène de réchauffement climatique.



Les cartographies (Fig. 7) mettent en évidence des augmentations plus importantes :

- de 1 à 2 °C près des zones arctiques ;
- de 0,2 à 0,5 °C dans les zones occidentales et africaines.



Ces variations de températures globales et locales induisent des changements comme par exemple :

- une sécheresse accentuée dans l'Afrique subsaharienne ;
- un réchauffement des saisons et une adaptation de l'agriculture ;
- l'augmentation du niveau des mers ;
- la fonte des glaces en Arctique et des glaciers en Europe.

Ces conséquences ont des répercussions sociales d'où l'importance des modèles pour essayer de comprendre ces évolutions et trouver d'éventuels moyens pour les parer ou en diminuer les effets.

Théories et modèles

Le GIEC

C'est le Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat qui est chargé par l'ONU d'évaluer les informations d'ordre scientifique, technique et socio-économique nécessaires pour comprendre les risques liés au réchauffement climatique d'origine humaine.

Autour d'un comité exécutif, 2 000 scientifiques ont travaillé sur des modèles numériques complexes prenant en compte les processus physiques qui règlent les comportements couplés de l'atmosphère et de l'océan à l'échelle de la planète.

L'hypothèse de base des modèles est que le réchauffement est dû aux gaz à effet de serre issus de l'usage des combustibles fossiles. Les experts se sont attelés à un scénario de prévisions très complexes : que faut-il faire pour que l'augmentation de température globale en 2100 ne dépasse pas un seuil de 2 °C, qui a été retenu lors de la conférence de Paris en 2015 (COP 21) ?

Les scénarios du GIEC

En un siècle, la température a augmenté de 0,8 °C. Depuis 1900, on émet du gaz carbonique en brûlant les réserves carbonées fossiles et cela s'est accéléré au cours des années, en 2015 on note plus de 10 Mrd de tonnes de CO₂. Plusieurs scénarios ont été donc bâtis par le GIEC.



ONU : Organisation des Nations unies



Remarque

Depuis 1990, le GIEC remet des rapports d'évaluation. Le cinquième en 2014 a servi de base pour la COP 21 et les accords de Paris en 2015.



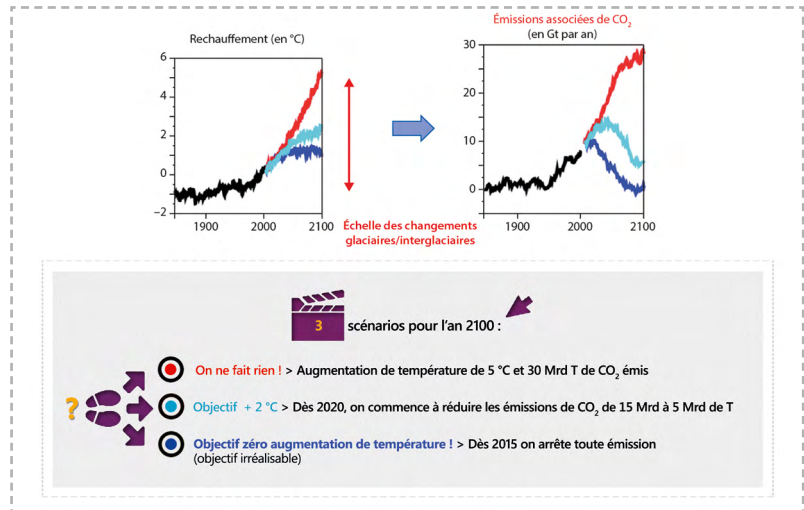
Le modèle numérique de climat est un

logiciel qui simule l'évolution des différentes composantes du système climatique ainsi que leurs interactions. Ces modèles permettent d'améliorer notre compréhension des processus climatiques et sont essentiels pour estimer l'évolution future du climat.



Figure 8

Les scénarios du GIEC.



La *figure 8* résume trois situations qui conduisent à des élévations de températures distinctes :

- 5 °C en 2100 si on ne fait rien et si on émet 30 Mrd T de CO₂ par an ;
- 2 °C en 2100 si dès 2020 on commence à réduire de 15 à 5 Mrd de T de CO₂ ;
- 0 °C si dès 2015 on arrête toute émission (objectif irréalisable).

L'objectif de 2 °C que s'impose les États signataires implique de diminuer de 50 à 70 % les émissions, dès 2050, pour atteindre l'équilibre carbone. La situation peut être meilleure si on a recours à la captation et à la réutilisation du CO₂ par la chimie conduisant à des « émissions négatives ».

Les conséquences du réchauffement climatique

La température

Les modèles donnent la cartographie qui simule les élévations des températures des différentes zones de la planète virtuelle suivant les hypothèses d'émission qui se traduisent dans les calculs par des niveaux du forçage radiatif.

Les variations de température moyenne, en fonction des différents forçages radiatifs sont les suivantes :

- pour un forçage radiatif de 2,6 W/m² (correspondant au seuil de +2 °C en 2100), pour les zones de l'Europe occidentale, elles sont



comprises entre 1 et 1,5 °C. Il y a en revanche un fort réchauffement du pôle Nord provoquant la fonte des glaces ;

- pour un forçage radiatif de 8,5 W/m² (correspondant aux + 5 °C ou + 6 °C), aucune zone n'échappe au réchauffement avec une augmentation de plus de 10 °C pour l'Arctique et même 3 °C pour l'Antarctique.

Le niveau des mers

Il y a plusieurs façons de mesurer la variation du niveau des mers. Depuis longtemps dans les ports, on se sert des marégraphes qui mesurent les niveaux hauts et bas des marées chaque jour et permettent de faire des moyennes annuelles d'un niveau moyen. Depuis les années 1990, les mesures spatiales par altimétrie et lasers permettent de mesurer les variations globales et locales.

Les contributions à l'élévation des niveaux sont :

- l'expansion thermique (la dilatation) ;
- la fonte des glaciers ;
- les eaux continentales, principalement.

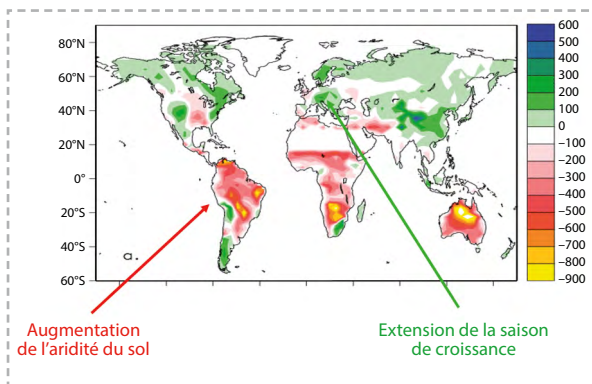
Depuis 1990, on mesure une augmentation de l'ordre de 2,5 à 3 mm/an ± 0,5 mm.

Dans les scénarios du GIEC, les projections pour 2100 vont de 40 à 75 cm. Il y aura sans doute des variations régionales différentes.

Adaptation et conséquences économiques

Pour les populations, les conséquences sont diverses avec des repercussions inégales sur les ressources alimentaires et l'économie.

L'exemple de l'Afrique est particulièrement frappant (Fig. 9).



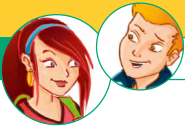
La dilatation thermique est l'expansion à pression constante du volume d'un corps occasionnée par son réchauffement, généralement imperceptible.



Une étude dans la région Aquitaine montre que le cordon dunaire des Landes est attaqué avec un trait de côte qui peut reculer et l'estuaire de la Gironde soumis à submersion, alors que dans les Hauts-de-France, la Baie de Somme s'ensable.

Figure 9

Modélisation simple de la production de végétation au travers des continents en réponse au réchauffement climatique.



Les régions intertropicales sont affectées de façon négative, les zones désertiques s'étendent, la végétation souffrira et les terres deviendront plus arides, ce qui peut entraîner des famines et perpétuer la sous-alimentation des populations.

En revanche, dans les régions extratropicales (Europe occidentale, États-Unis, Canada, Chine), la croissance de la végétation va s'améliorer. Il est clair que la culture, l'agriculture et la viticulture sauront alors s'adapter aux variations climatiques.

La prise en compte des variations naturelles

Si près de 90 % des scientifiques et plus encore des journaux sont convaincus que le changement climatique est dû au gaz à effet de serre et notamment au CO_2 , un nombre non négligeable parmi les scientifiques et historiens du climat pensent que ce changement n'est pas seulement dû au CO_2 mais que les évolutions naturelles de la planète sont aussi à prendre en cause.

Ils ne nient pas les augmentations de concentration des gaz CO_2 , CH_4 , N_2O mais discutent en se basant sur des variations naturelles de la planète, des oscillations des océans et des cycles solaires, de la validité des extrapolations du climat du futur du GIEC.



Une courbe en forme de crosse

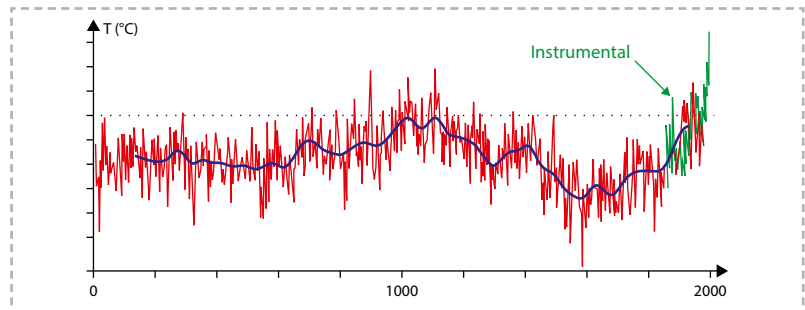
de hockey est une représentation graphique de l'évolution des températures mondiales sur le second millénaire. Elle montre une diminution lente et régulière de la température de 1000 à 1900, avant une remontée brutale.

La température

Les courbes en forme de crosse de hockey (Fig. 10) ne prennent pas en compte des résultats plus complets mêlant les analyses isotopiques ainsi que la dendrochronologie et l'analyse de sédiments pour les derniers millénaires.

Figure 10

Évolution de la température relative de l'an 0 à l'an 2000. Courbe bleue : moyenne des températures sur 10 ans, courbe rouge : températures déduites par carottages et écrits anciens, courbe verte : mesures réelles (thermomètres puis satellites).





Les paléoclimatologues, en accord avec les historiens, mettent alors en évidence le petit âge glaciaire du XIV^e au XIX^e siècle précédé par un optimum climatique médiéval vers l’an 1000, précédée par une période plus froide qui suivait une période plus clémente au temps des Romains.

Ceci fait soupçonner un cycle de 1 000 ans pas vraiment dû aux émissions de gaz carbonique qui au X^e siècle, n’avaient rien à voir avec celles du XX^e siècle.

Les données des relèvements des températures depuis 1998 (valeur élevée comme à chaque année de l’apparition d’un courant du pacifique dit *El Nino*) semblent plutôt stables et ne coïncident pas avec les extrapolations.

De même, l’évolution de l’anomalie de température dans la troposphère, étudiée par des mesures satellites et par des ballons sondes, est nettement plus basse que celle prévue par les modèles (*Fig. 11*). Il y a donc un certain nombre d’experts du climat qui contestent les projections de température du GIEC et pensent qu’il faut encore des études complémentaires sur un sujet aussi complexe.

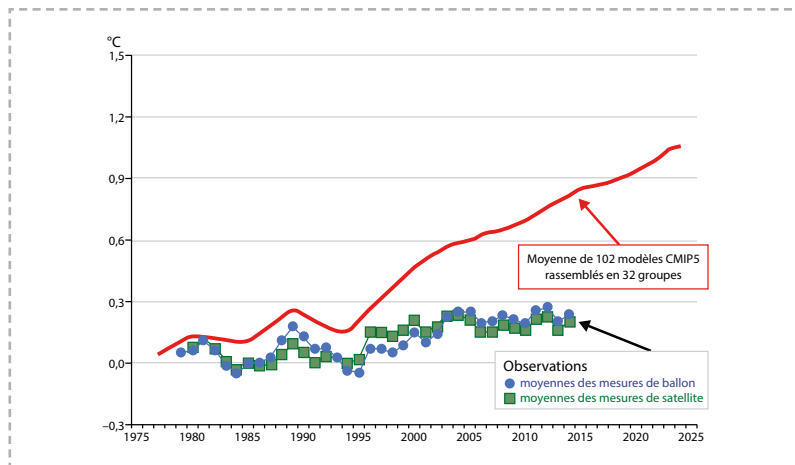


Figure 11

Évolution de l’anomalie de température dans la troposphère moyenne entre 1975 et 2025 par des mesures de ballons et par des mesures de satellites. Comparaison entre les modèles et les observations. Toutes les courbes (moyennes sur cinq ans) partent de zéro en 1979. Source : J.R. Christy, Univ. Alabama.

L’activité solaire

Les observations du Soleil permettent de suivre les taches solaires qui sont plus ou moins abondantes en fonction des années.



Figure 12

Les tâches solaires.



Remarque

Depuis les années 1600, les astronomes ont régulièrement noté le nombre de taches qui suivent un cycle de onze ans et qui sont en relation avec l'activité du Soleil.

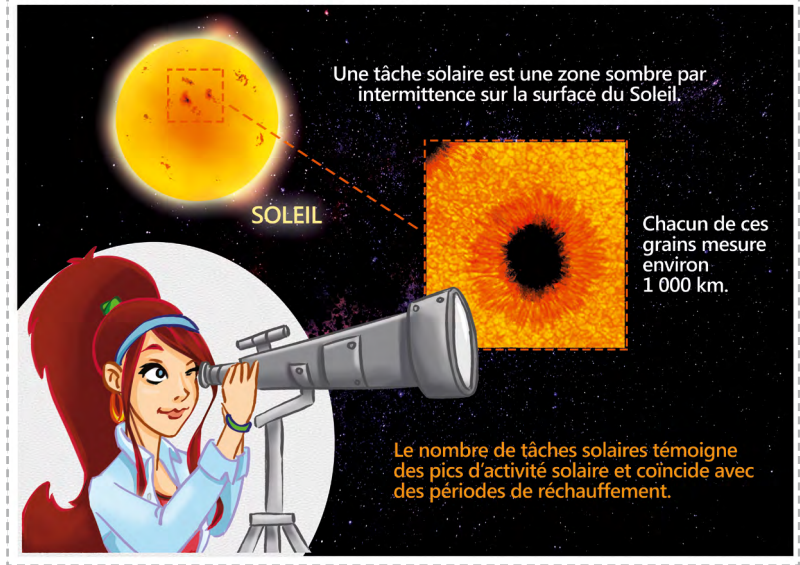
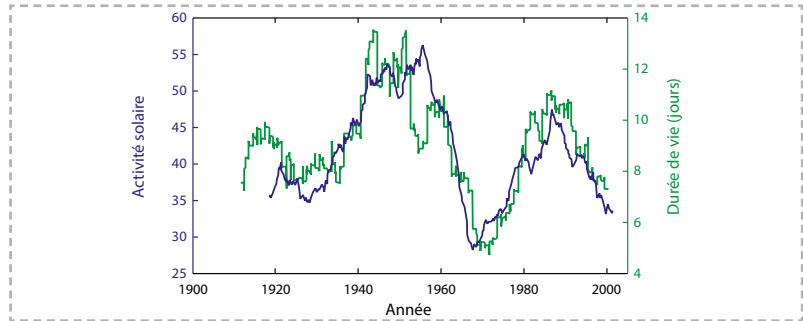


Figure 13

Évolution de l'activité solaire et de la variabilité (ou durée de vie) de la température aux Pays-Bas de 1910 à 2000. Ces deux courbes suivent des variations très proches. Source : Le Mouël et coll. (2009).



Durant la deuxième moitié du XVII^e siècle, on note la quasi absence de taches, ce déficit correspond à une période très froide ; de même après 1800, un minimum est observé avec une activité solaire réduite, qui correspond à un petit âge glaciaire (Fig. 13).

Au contraire, au XX^e siècle, les cycles sont nettement plus importants. Un certain nombre de géophysiciens et astrophysiciens relient l'activité solaire à la variabilité de la température.

Le niveau des mers

Depuis les années 1990, grâce aux mesures altimétriques des satellites, on sait que l'élévation moyenne du niveau de la mer est d'environ



3 mm/an. Grâce aux marégraphes, on sait aussi que le niveau moyen global s'est élevé de 20 cm au XX^e siècle, soit environ 2 mm/an.

Cette accélération est-elle significative ou doit-on la considérer comme des variations naturelles comme on le constate sur la courbe de la *figure 14* ?

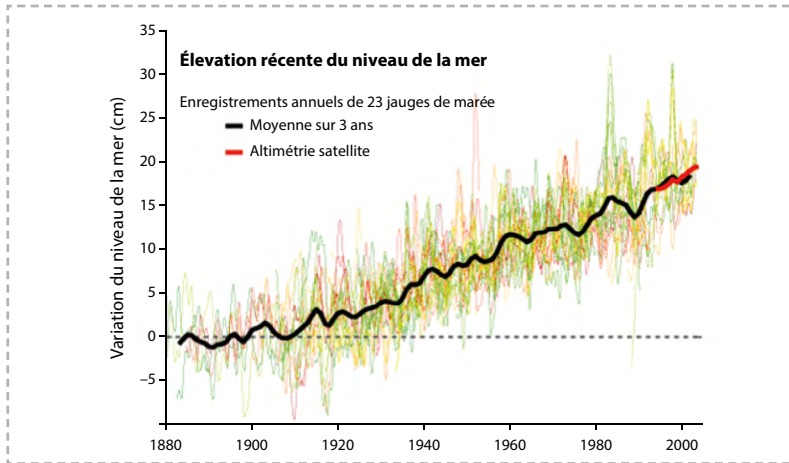


Figure 14

Variation du niveau de la mer depuis 1880. Courbe noire : moyenne sur trois ans obtenue à partir des mesures marégraphiques ; courbe rouge : mesures satellites.

Les experts dénotent des segments à pentes diverses positives ou négatives représentatifs de ralentissements ou d'accélération. C'est dire qu'à la fin du XXI^e siècle, le niveau aura peut être augmenté de plus de 20, 30 ou 40 cm et qu'il faudra notamment pour l'habitat atlantique ou méditerranéen s'y adapter.

Conclusion

Le changement climatique n'est plus à démontrer et les analyses montrent clairement en ce début de XXI^e siècle, un réchauffement dû aux émissions de gaz à effet de serre. Certains modèles prennent plus en compte les variations naturelles et les cycles océaniques et solaires pour expliquer ces changements. Quelles qu'en soient leurs origines, les chimistes que nous sommes, pensons que ce n'est pas la peine d'ajouter des milliards de tonnes de CO₂ à celles déjà existantes dans l'atmosphère, en brûlant bêtement nos ressources fossiles de pétrole, gaz et charbon. Il y a mieux à faire en poussant les recherches sur les énergies renouvelables et la chimie végétale.