

Séance publique du 2 octobre 2017

Le réchauffement climatique : Trump aurait-il raison ?

Pierre LOUIS

Académie des Sciences et Lettres de Montpellier

MOTS-CLÉS

Effet de serre - G.I.E.C. - Climato-sceptiques - Causes anthropiques du réchauffement.

RÉSUMÉ

Les faits montrant le réchauffement climatique sont exposés ainsi que le bilan radiatif de la Terre. Les causes possibles en sont présentées à partir de la position anthropique du G.I.E.C. mais également à partir de celles de Scientifiques « climato-sceptiques ». Des conclusions les plus objectives possibles en sont tirées.

Nous allons présenter les faits bien établis prouvant ce réchauffement avant d'en examiner les diverses causes possibles.

1. Les faits

Précisons d'abord le mécanisme conduisant à la température terrestre moyenne. C'est le Soleil qui chauffe essentiellement la surface terrestre car la chaleur interne du globe qui se manifeste sous forme du flux géothermique est négligeable. Mais l'apport de l'énergie solaire donne lieu à un ensemble de phénomènes complexes. Ils sont regroupés communément sous le nom « d'effet de serre », terme que nous utiliserons ici bien que les climatologues préfèrent parler de « forçage radiatif » car ce n'est pas ce phénomène qui se produit dans les serres. C'est ce mécanisme que nous examinons maintenant.

1.1. L'effet de serre

1.1.1. Principe.

On peut le résumer et le simplifier de la manière suivante : le rayonnement solaire, essentiellement dans le spectre visible, traverse l'atmosphère et réchauffe la Terre. Celle-ci va alors émettre un rayonnement dans l'infra-rouge. En effet le Soleil, compte tenu de sa très haute température, émet dans les longueurs d'onde visibles alors que la Terre beaucoup plus froide émet dans les longueurs d'onde de l'infra-rouge. Or un certain nombre de gaz, les gaz à effet de serre qui s'étaient laissés traverser par la lumière solaire, absorbent le rayonnement thermique émis par la Terre et le réémettent parti vers l'espace mais parti vers la Terre. Sans gaz à effet de serre, la surface terrestre serait à une température de l'ordre de -19°C , la vie telle que nous la connaissons serait impossible. Grâce à l'effet de serre la chaleur reçue est plus importante que dans le cas

précédent, la température moyenne est donc plus élevée, elle est de l'ordre de 15° C, la vie peut s'épanouir.

Que se passe-t-il si les quantités de gaz à effet de serre augmentent ? Dans ce cas, une part plus importante des rayonnements émis par la terre est renvoyée vers elle. Sa température augmente jusqu'à un nouvel équilibre où elle émet autant de chaleur qu'elle en reçoit. Plus il y a de gaz à effet de serre plus la température correspondant à ce nouvel équilibre est élevée. C'est la raison principale pour laquelle la température de la planète Vénus par exemple est extrêmement élevée : 465° C. Nous avons beaucoup de chance sur la Terre : les gaz à effet de serre s'y trouvent en une quantité qui permet le développement de la vie telle que nous la connaissons.

1.1.2. Quels sont les gaz à effet de serre (GES) ?

Un gaz ne peut présenter l'effet de serre que si sa molécule comprend au moins trois atomes, ou deux si ce sont des atomes différents. Les gaz qui constituent l'essentiel de l'atmosphère terrestre : l'azote et l'oxygène ne remplissent pas ces conditions et ne jouent donc pas de rôle dans l'effet de serre.

Les principaux GES présents naturellement dans l'atmosphère sont : la vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O). Il existe également des gaz industriels à très fort effet de serre, en particulier des hydrocarbures halogénés, mais leur teneur dans l'atmosphère est extrêmement faible et leur rôle peut être considéré comme négligeable. En fait l'eau est à l'origine de 72%, soit près des trois quarts, de l'effet de serre total. Mais la vapeur d'eau ne peut s'accumuler indéfiniment dans l'atmosphère, sa durée de séjour y est estimée de une à deux semaines car les quantités excédentaires sont rapidement éliminées par précipitation. L'effet est dominant mais sa variabilité est considérée par l'ensemble des climatologues comme négligeable à l'échelle de temps qui est la leur (ordre de 30 ans). Il n'en est pas de même pour le dioxyde de carbone, le méthane et le protoxyde d'azote dont les durées de séjour dans l'atmosphère se comptent en années et même atteignent pour le CO₂ la centaine d'années. Chacun de ces gaz a en outre un effet différent sur le réchauffement global. Si l'on prend comme référence l'effet du CO₂, le méthane a un impact 25 fois plus grand et le protoxyde d'azote 298 fois. Mais comme les concentrations atmosphériques respectives de ces gaz sont actuellement de 400 parties par million (ppm) pour le CO₂, de 1,8 ppm pour le CH₄ et 0,327 ppm pour le N₂O, on comprend que l'essentiel de la variabilité de l'effet de serre soit dû de nos jours au dioxyde de carbone.

Dans le passé, les paléoclimatologues pensent que la concentration des gaz à effet de serre a été beaucoup plus importante qu'aujourd'hui. En particulier ils ont reconstruit à partir de données isotopiques de l'oxygène et du silicium des températures chaudes, voire très chaudes pour les océans archéens (période comprise entre 3 800 et 2 500 millions d'années) alors que le soleil jeune était beaucoup moins puissant qu'aujourd'hui. On constate en effet que son intensité lumineuse augmente avec le temps presque linéairement de 7% par milliard d'années. Il fallait donc beaucoup de GES pour réchauffer l'atmosphère terrestre à cette époque.

1.2. Le réchauffement climatique actuel

1.2.1. Mise en évidence du réchauffement

C'est une toute autre échelle de temps que nous allons considérer maintenant. Nous passons de l'échelle géologique à l'échelle humaine. Nous allons nous intéresser au réchauffement climatique des derniers 150 ans. Comme on pouvait s'y attendre, l'évolution du climat n'a pas échappé aux contemporains du 19^{ème} siècle finissant et a

nourri bon nombre d'articles parfois sensationnels même de la part de journaux sérieux. « Notre climat est-il en train de changer ? » s'interroge le *New York Times* du 23 juin 1890. Il conclut à un recul du froid. En totale opposition le même journal titre, le 7 octobre 1912, « la 5^{ème} ère glaciaire en chemin. La race humaine devra combattre contre le froid pour son existence » C'est en 1975, qu'un rapport de l'Académie des Sciences américaine précise : « Les climats de la Terre ont toujours changé et ils continueront à le faire. Quelle sera l'ampleur, où et à quelle vitesse auront-ils lieu, nous ne le savons pas » et plaide pour un vaste et ambitieux programme de recherche en climatologie. C'est l'amorce d'un intérêt mondial pour le climat. La 1^{ère} Conférence scientifique sur le sujet a lieu en 1979. Puis le monde politique s'engage dans la réflexion sur le réchauffement climatique qui apparait maintenant clairement et, en 1988, le Groupe des sept demande à l'ONU la création d'un groupe intergouvernemental d'experts sur le changement climatique global. Ce sera le GIEC. La mise en place de ce groupe va considérablement stimuler les recherches dans ce domaine sur le plan mondial et permettre en particulier de multiplier les observations.

Nous allons maintenant examiner le réchauffement climatique tel qu'il est admis aujourd'hui par l'ensemble des climatologues.

1.1.2. Amplitude du réchauffement

L'analyse de l'évolution de la température impose de disposer d'observations globales sur toute la surface terrestre (terres émergées, océans). Or c'est seulement depuis le milieu des années 1970 que les programmes d'observations par satellites complétés par des systèmes d'observation *in situ* permettent d'obtenir des ensembles de données échantillonnées régulièrement dans l'espace et le temps. Pour les décennies antérieures, les données, plus partielles, font l'objet de retraitements dans le cadre d'une coordination internationale pour les rendre homogènes en tenant compte des changements d'instrumentation.

A partir de l'ensemble des données, la communauté scientifique a mis en évidence un réchauffement climatique incontestable qui se matérialise par une augmentation de la température terrestre et océanique ainsi que par un certain nombre de phénomènes qui en découlent.

a) Augmentation de la température de surface de la Terre.

Les mesures montrent que le réchauffement climatique est notablement différent pour les deux hémisphères : plus fort au Nord et plus fort aux hautes latitudes. Une variabilité entre continents est également observée. La figure 1 présente l'évolution des températures globales moyennes de surface sur la Terre entre les années 1850 et 2015. Il s'agit là de la courbe admise actuellement par tous les climatologues avec les barres d'erreur qui y sont associées. C'est à partir de cette courbe que sont conduites toutes les réflexions sur l'évolution de la température terrestre. Il nous faut préciser la raison pour laquelle cette courbe débute en 1850. C'est simplement parce que nous ne disposons de températures en domaine océanique que depuis cette date, date à partir de laquelle les navires ont commencé à relever la température des eaux superficielles. Or, si en domaine continental la température utilisée pour définir la température moyenne terrestre est celle de l'atmosphère, en domaine océanique on utilise la température des eaux de surface. En l'absence de telles données il n'est donc pas possible de prétendre valablement établir une courbe avant cette date.

La figure 1 montre une augmentation de cette température moyenne de 0,8° +/- 0,2° C entre les années 1850 et 2000. Une forte modulation sur des périodes annuelles et multidécennales est également visible, avec deux périodes de plus forte augmentation (approximativement de 1910 à 1940 et de 1975 à 2000) encadrées par des périodes de stagnation ou de décroissance. On remarque également un plateau depuis le

début des années 2000. Ce plateau ou «hiatus» dans le réchauffement était extrêmement net sur une courbe qui s'arrêtait en 2013, il l'est moins lorsque l'on inclut les années 2014, 2015 et 2016. Nous reviendrons plus loin sur ce « hiatus » et ses interprétations possibles, afin de déterminer l'importance que l'on doit lui accorder concernant l'évolution future de la température terrestre.

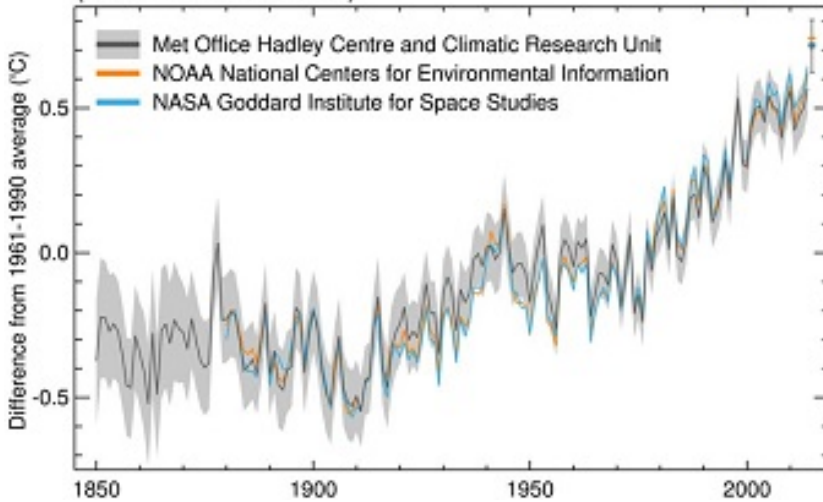


Figure 1 : Variations de températures entre 1850 et octobre 2015

b) Augmentation de la température des océans.

Si l'on s'intéresse à la température des océans, mesurée depuis les années 1950 par les navires océanographiques jusque vers 700 mètres de profondeur et plus récemment par un système de bouées, on constate une augmentation moyenne globale depuis quelques décennies. Le contenu d'énergie thermique de l'océan a donc augmenté, surtout depuis le début des années 1980. Ce réchauffement n'est pas uniforme. Il présente une importante variabilité régionale avec d'importantes oscillations annuelles voire décennales.

c) Réduction de la surface des glaces océaniques arctiques.

De 8,5 millions de km² stable dans la période 1950-1975, la surface des glaces de mer s'est réduite à 5,5 millions de km² en 2010.

d) Recul des glaciers continentaux.

Il est observé depuis trois à quatre décennies avec une nette augmentation au cours des 20 dernières années.

e) Les calottes polaires de l'Antarctique et du Groenland.

Elles ont un bilan total de masse négatif même si quelques régions de l'Antarctique s'épaississent un peu par suite de précipitations neigeuses accrues.

f) Élévation du niveau moyen des océans.

Le niveau moyen de la mer, en moyenne annuelle sur toute la planète, s'est élevé à un rythme de 0,7 mm/an entre 1870 et 1930 et d'environ 1,7 mm/an après 1930. Depuis 1992, les mesures beaucoup plus précises sont effectuées par satellites : la hausse est de l'ordre de 3,4 mm/an. On estimait que les contributions climatiques à cette élévation étaient approximativement dues, pour un tiers à la dilatation de l'océan consécutive au réchauffement et, pour les deux autres tiers, à parts quasi égales à la fonte des calottes polaires et à la fonte des glaciers continentaux. Les dernières études, en particulier la gravimétrie satellitaire, montrent que la part provenant de la fonte des

calottes glaciaires ne serait que de 20%. Par contre, on a introduit un effet qui n'avait pas été pris en compte antérieurement, le pompage effectué par l'homme dans les nappes souterraines qui représenterait également une dizaine de pour cent.

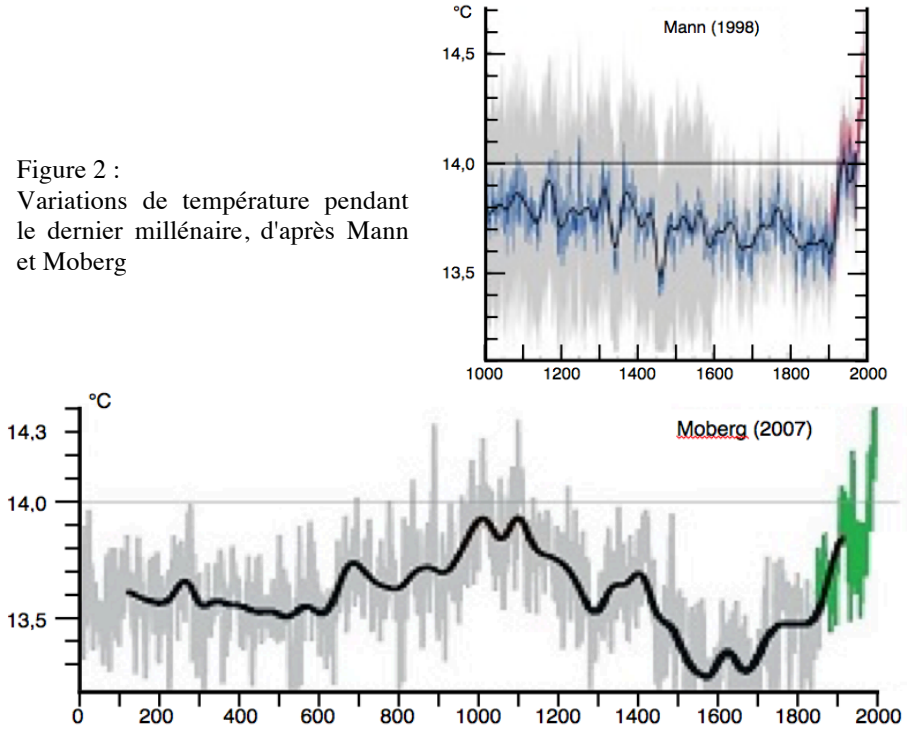
g) *Événements météorologiques extrêmes.*

Le 5^{ème} rapport du G.I.E.C (2013) contredit les rapports antérieurs sur ce point. En effet, il établit qu'aussi bien en ce qui concerne les cyclones tropicaux que les tornades violentes ou les sécheresses extrêmes, il n'y aurait pas d'augmentation statistique significative de leur nombre au cours du siècle dernier et en particulier au cours des dernières décennies. Les media n'ont pas encore intégré ces données et entretiennent à tort une certaine inquiétude dans le public.

Nous allons examiner maintenant les données dont nous disposons concernant les variations de la température, d'une part au cours du dernier millénaire, puis au cours des derniers 800 000 ans. Nous nous appuyons ensuite sur certains de ces résultats pour envisager les causes possibles du réchauffement actuel.

1.3. Variation de la température dans l'hémisphère Nord au cours du dernier millénaire

Figure 2 :
Variations de température pendant le dernier millénaire, d'après Mann et Moberg



À l'échelle du millénaire, des travaux ont été réalisés afin d'évaluer les variations de la température, cette fois non pas de la température moyenne de la Terre mais uniquement de la température moyenne de l'hémisphère nord. Le premier travail a conduit à la courbe de Mann (1999) : appelée à cause de sa forme courbe en crosse de hockey. Elle montre une diminution régulière de la température depuis l'an 1000 et une brutale remontée d'une très grande amplitude depuis le début du 19^{ème} siècle. Ce travail

était basé sur l'étude des anneaux d'accroissement des arbres. Mais quelques années plus tard, en 2005, Moberg et son équipe ont repris cette étude et ont montré qu'en fait les arbres n'étaient pas de bons marqueurs pour les longues périodes qu'ils filtraient. Ils ont donc utilisé une autre méthode basée sur les isotopes de l'oxygène dans des sédiments bien datés essentiellement européens et ils ont obtenu une courbe très différente (figure 2).

Ils ont également pu faire remonter leur courbe jusqu'à l'an 0. On retrouve sur les deux courbes des hautes fréquences comparables mais la courbe de Moberg montre un pseudo-cycle de 1 000 ans qui retrouve l'optimum médiéval avec des températures comparables à celles des années 2 000 suivi du petit âge glaciaire bien connu des historiens. Une question se pose actuellement : ce pseudo-cycle a-t-il une signification mondiale ou simplement européenne ? Si ce pseudo-cycle a une signification mondiale alors que la teneur en CO₂ de l'atmosphère reste stable, ce serait un résultat extrêmement important qui montrerait une absence de corrélation entre température et teneur en CO₂ durant le dernier millénaire. La question reste entièrement ouverte malgré de nombreuses études.

1.4. Variation de la température dans l'Antarctique au cours des derniers 800 000 ans

Dans la glace des calottes polaires, la Terre a conservé des archives naturelles des variations passées du climat telles que la variation de température et les variations des concentrations en gaz à effet de serre de l'atmosphère. De fait, la neige qui tombe en Antarctique et au Groenland enferme, lorsqu'elle se transforme en glace, des petites bulles qui sont d'authentiques échantillons des atmosphères passées qui pourront ainsi être analysées. Comme par ailleurs il existe des relations bien calibrées entre la température moyenne atmosphérique à l'endroit où se produisent les précipitations et la composition isotopique en ¹⁸O de la glace, il suffira de mesurer cette composition pour en déduire la température moyenne lors de la formation de cette glace. En outre, il est possible de dater les glaces en comptant les strates contenues dans une carotte. Bien sûr cette datation est d'autant moins précise que l'on se trouve à une profondeur plus grande. Mais, néanmoins on dispose avec les carottes forées dans l'Antarctique et au Groenland d'archives qui ont été largement exploitées. En particulier un carottage de 3 028,80 m de long a été effectué dans la calotte antarctique (carotte forée à EPICEA, dôme C). La longueur de cette carotte a permis de remonter à 800 000 ans. C'est la limite actuellement atteinte mais il est envisagé de nouveaux forages plus profonds et on espère ainsi remonter davantage dans le temps. Les résultats obtenus sont présentés (figure 3).

On constate de grandes variations de la température de -65 à -50 degré C. qui correspondent aux périodes glaciaires et interglaciaires. Pour le CO₂, les variations vont de 180 ppm à un maximum de 300 ppm et l'on observe une corrélation flagrante entre teneur en CO₂ et température. Cependant cela ne signifie pas que le CO₂ soit la cause des variations de température. Qui dit corrélation, ne dit pas causalité. En outre la causalité peut-être dans le sens température vers CO₂ (par dégazage du CO₂ océanique) ou dans le sens CO₂ vers température. D'ailleurs Milutin Milankovitch, un mathématicien serbe, a montré dès 1920 qu'une part majeure de ces fluctuations de température était liée à des variations de paramètres orbitaux de la Terre (excentricité de l'orbite, obliquité de l'axe de rotation par rapport au plan de l'écliptique et précession des équinoxes).

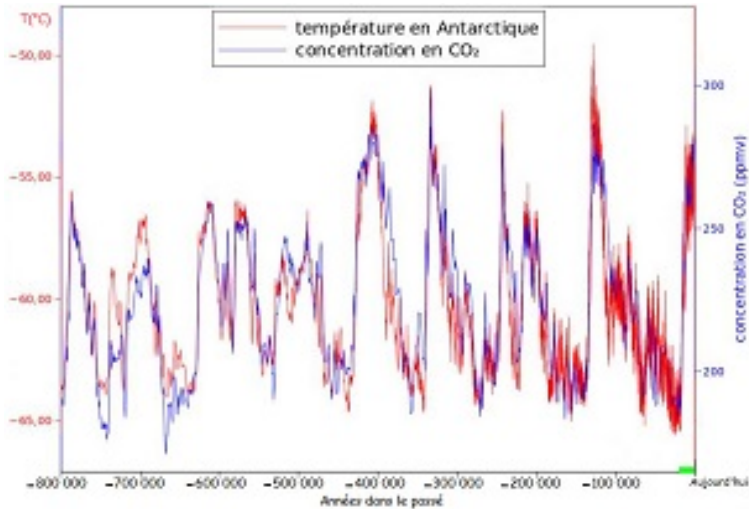


Figure 3 : Variations de la température et de la concentration en CO_2 depuis 800 000 ans

Pour mieux comprendre la relation température, teneur en CO_2 de l'atmosphère les climatologues ont cherché à déterminer si les changements de température précédaient ou non les variations de teneur en CO_2 . Ce travail a été conduit sur la dernière déglaciation.

Etude de la relation entre teneur en CO_2 et température lors de la dernière déglaciation

Sur le plan des techniques de mesure, ce problème est plus compliqué qu'il n'y paraît. Alors que les variations de température sont enregistrées en surface des calottes polaires, les bulles de gaz sont piégées à une centaine de mètres de profondeur. Il existe donc un décalage en profondeur entre l'enregistrement de température et l'enregistrement de CO_2 pour un âge donné. Des études très soignées ont été faites de la période correspondant à la dernière déglaciation entre -20 000 et -10 000 ans.

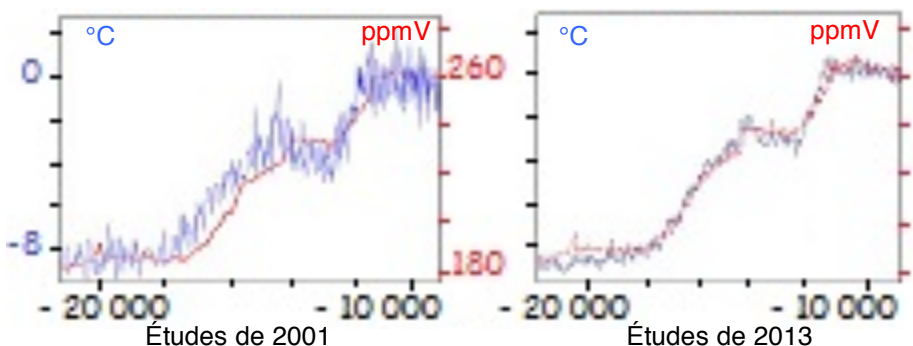


Figure 4 : Variations pendant la dernière déglaciation de la température (—) et de la concentration en CO_2 (—)

Les premières études, de 2001, montraient un retard des variations de la teneur en CO_2 par rapport aux variations de température, de l'ordre de 800 ans. Mais des études plus récentes, 2013, contredisent ces résultats et suggèrent que la teneur en CO_2

et la température en Antarctique auraient commencé à augmenter en même temps (figure 4). Le CO₂ apparaît donc comme une cause potentielle parmi d'autres des déglaciations passées.

Actuellement les paléoclimatologues sont arrivés à l'idée suivante : pour avoir une glaciation il faudrait un cadre propice avec un cycle du carbone favorable (ordre de 280 ppm pour le CO₂ atmosphérique). C'est alors que les paramètres orbitaux qui sont des phénomènes à amplitude faible tentent de faire basculer le climat vers la glaciation. Il faut alors que les composantes : atmosphère, océans, végétation se chargent de faire caisse de résonance pour amplifier le signal et produire les conditions physiques de l'initiation de la calotte. Ce scénario se serait produit avec des variantes de nombreuses fois depuis 800 000 ans. En effet, le taux de CO₂ est resté relativement bas pendant toute la période et le système piloté par les paramètres orbitaux a donc pu présenter plusieurs épisodes de glaciation et de déglaciation. On voit que le phénomène est complexe et fait intervenir de nombreux facteurs.

2. Les causes du réchauffement actuel

Nous entrons maintenant dans la partie la plus controversée du problème. En effet, si tout le monde admet le réchauffement climatique actuel, il existe deux groupes de pensée concernant ses causes. La majorité des scientifiques, dont le GIEC est le représentant, considère que les gaz à effet de serre, essentiellement le CO₂, seraient les grands responsables du réchauffement. Ce CO₂ serait lié aux activités humaines et ne devrait que croître au cours du 21^{ème} siècle sauf décisions politiques prises à l'échelle de la planète, le réchauffement ne pourrait donc que se poursuivre. L'autre groupe de pensée que l'on rassemble sous le nom de « climato-sceptique » estime que l'homme ne serait pas la cause essentielle de ce réchauffement.

2.1. Position du GIEC

En soutien de sa position le GIEC présente un certain nombre d'arguments :

2.1.1. Impact du Soleil

Tout d'abord, il examine le rôle que l'on pourrait attribuer au Soleil dans ce réchauffement. C'est en effet le premier facteur auquel on pense puisque c'est lui qui chauffe la surface terrestre. Le GIEC constate qu'évidemment la radiation reçue du Soleil par la Terre hors de l'atmosphère à une latitude donnée en été ou en hiver dépend de la luminosité du Soleil, de la distance de la Terre au Soleil ainsi que de l'orientation de l'axe de rotation de la Terre. Ces paramètres orbitaux varient à l'échelle de milliers d'années. Les périodes associées (20 000, 40 000, 100 000 ans) se retrouvent dans les cycles glaciaires-interglaciaires. Les variations de radiation saisonnière ou en latitude qu'elles induisent sont importantes. Mais lorsque l'on s'intéresse aux variations moyennes annuelles de la radiation solaire calculées sur toute la surface de la Terre, on constate qu'elles sont faibles. La variation relative de l'énergie totale rayonnée par le Soleil est dominée par la partie visible du spectre et elle a très peu varié au cours du 20^{ème} siècle. Si l'on fait la moyenne sur les cycles d'activité de 11 ans, on constate que la variation relative durant ces cycles est de l'ordre du millième. Le « forçage » correspondant de l'ordre de 0,2 W/m² est 10 fois plus faible que celui dû à l'augmentation de l'effet de serre que le GIEC attribue aux activités humaines.

2.1.2. Impact du CO₂

Dans un deuxième temps, le GIEC a examiné l'autre cause potentielle du réchauffement climatique : les gaz à effet de serre et en particulier le CO₂ dont l'effet est prédominant. Il a constaté deux faits. Tout d'abord, comme nous l'avons vu, depuis 800 000 ans, il y a une excellente corrélation entre la teneur en CO₂ et la température. En outre, durant toute cette période, la teneur en CO₂ n'a jamais dépassé 300 ppm et n'a donc jamais atteint les valeurs actuelles. En effet avant l'ère industrielle, la concentration en CO₂ était de 278 ppm, en 2014, elle est passée à 400 ppm et on constate qu'il s'agit d'une croissance régulière depuis que des enregistrements sont effectués à l'observatoire de Mauna Loa à Hawaï (1950). Le GIEC en a déduit logiquement que l'accroissement de la teneur en CO₂ était dû à l'activité humaine. Il a d'ailleurs été facile de le démontrer en se basant sur des analyses isotopiques du carbone. En effet, le CO₂ issu de la combustion des énergies fossiles a une composition isotopique différente du CO₂ naturel atmosphérique. Les énergies fossiles sont caractérisées par une plus grande abondance en isotope léger (¹²C par rapport à ¹³C). Or c'est précisément ce que l'on observe depuis 1850. A partir de ces constats, le GIEC en a déduit que le réchauffement climatique était essentiellement d'origine anthropique.

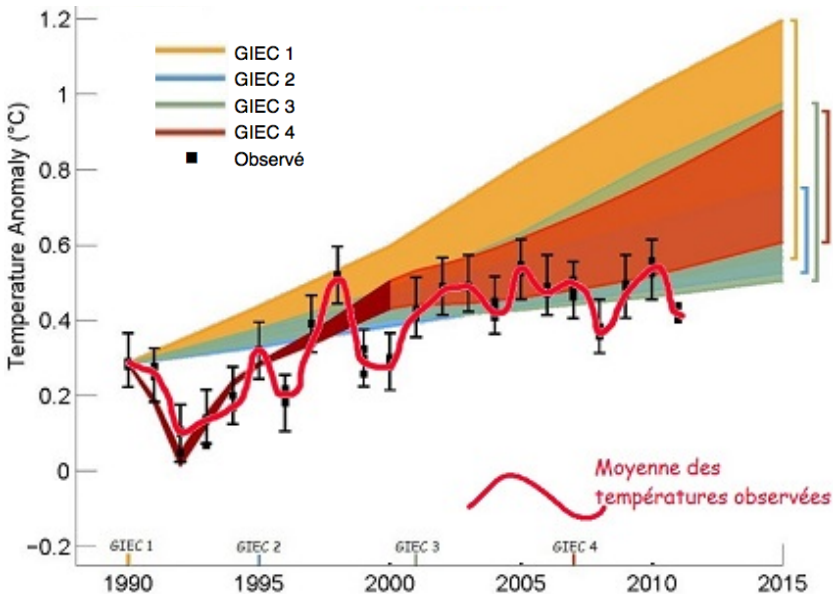


Figure 5 : Comparaison entre les observations et les modèles de prévision climatiques du GIEC

De nombreux modèles ont été élaborés reprenant cette approche. Ils ont pour but de faire des prédictions concernant le réchauffement climatique à venir. Le GIEC s'est efforcé de regrouper les modèles en donnant des barres d'erreur. De plus les modèles présentés au cours des rapports successifs ont bien entendu évolué en tenant compte des nouveaux travaux (figure 5). Les conclusions du GIEC dans son 5^{ème} rapport qui a servi de réflexion à la COP21 (réunion intergouvernementale tenue à Paris en 2015) sont nettes et stipulent que les émissions anthropiques de gaz à effet de serre, essentiellement le CO₂, ont de larges répercussions sur le réchauffement climatique ainsi que sur le niveau de la mer.

En conséquence les gouvernements ont décidé de se donner les moyens pour qu'à l'échéance 2100 la température moyenne de la Terre ne soit pas supérieure de plus

de 2°C à celle de l'ère préindustrielle. Cette décision entrainerait des contraintes drastiques pour les États si elle devait être respectée, ce dont les spécialistes du climat doutent fortement. En particulier des économistes tels que Jean Tirole insistent sur le fait que tant qu'un prix du carbone valable internationalement n'aura pas été défini et imposé à tous, les engagements sans sanction financière resteront des vœux pieux. En outre le retrait des États-Unis de l'accord de Paris et les positions spectaculaires prises par le Président Donald Trump font planer beaucoup de doute sur l'avenir même de cet accord.

2.2. Objections des « climato-sceptiques »

Les scientifiques climato-sceptiques présentent pour leur part un certain nombre d'objections aux arguments du GIEC :

2.2.1. Le « hiatus » 1998-2012

Tout d'abord, il est reproché au GIEC de n'avoir pas prévu ce fameux « hiatus » : c'est-à-dire ce plateau dans le réchauffement climatique que l'on constate de 1998 à 2012. Ce hiatus est d'autant plus intrigant que tous les modèles sont passés à côté (fig 5). On peut alors se poser la question : le ralentissement relève-t-il uniquement de la variabilité naturelle du climat ou traduit-il une trop grande sensibilité des modèles à l'influence des gaz à effet de serre ? Cette question a été récemment reprise, en particulier en France par des chercheurs du CNRS et de Météo France. Leurs travaux tendent à privilégier la première piste, en désignant plus particulièrement comme responsable le Pacifique tropical et le régime des alizés. Ce bassin océanique est en effet le siège d'une forte variabilité naturelle qui se manifeste aux échelles interannuelle et multi décennale (PDO pour Pacific Decadal Oscillation). Cette variabilité jouerait un rôle essentiel dans le ralentissement récent du réchauffement global et si c'est bien le cas celui-ci aurait vocation à s'accélérer à nouveau au cours des prochaines décennies. Doit-on considérer que les températures élevées de 2014, 2015 et 2016 en seraient déjà l'amorce ?

Pour d'autres chercheurs (F. Gervais, V. Courtillot), le hiatus prolongerait une oscillation de pseudo-période proche de 60 ans. Cette oscillation climatique ne serait pas reliée au CO₂ mais à une oscillation naturelle du système océan-atmosphère. On se rapproche donc de l'explication précédente, mais ici on lui attribue un caractère pseudo-périodique. On ne la connaît que sur deux ou trois oscillations donc toute extrapolation est hasardeuse. Elle tendrait cependant à suggérer que le plateau pourrait continuer une dizaine d'années. L'avenir permettra de trancher entre les deux conclusions mais les trois dernières années semblent suggérer une nette remontée de la température dès maintenant.

2.2.2. Rôle du Soleil

Toujours dans l'idée de mettre en évidence le rôle du Soleil, l'IPGP (Institut de Physique du Globe de Paris) fournit une courbe montrant une relation étroite entre la variabilité de l'activité solaire et la variabilité de la température aux Pays Bas au cours du dernier siècle. L'examen de cette courbe montre qu'il existe au moins une cause commune à ces fluctuations qui sont parfaitement corrélées. La seule explication qui semble raisonnable consiste à dire qu'au cours du 20^{ème} siècle les stations météo des Pays Bas étaient influencées par les variations de l'activité solaire.

Dans le même ordre d'idées, si l'on se reporte à une période de très faible activité solaire révélée par l'absence quasi-totale de taches solaires (1645-1715) appelée « Minimum de Maunder », on constate effectivement que cette période coïncide avec les phases les plus marquées du « Petit âge glaciaire ». De même, on observe qu'entre

1950 et 1975 (figure 6), la température non seulement ne montait pas mais baissait faiblement alors que la teneur en CO₂ de l'atmosphère continuait à croître et que l'activité solaire faiblissait.

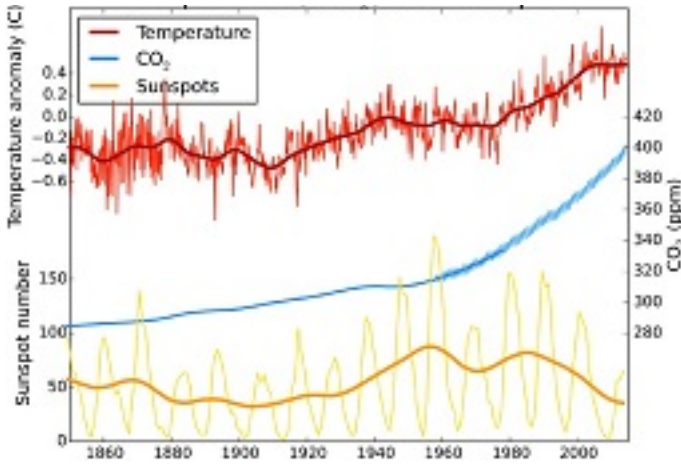


Figure 6 : Evolutions, entre 1850 et 2010, de la température, de la concentration en CO₂, et de l'activité solaire (sunspots number ou nombre de tâches solaires)

À partir des remarques précédentes qui suggèrent un rôle du Soleil, il est reproché au GIEC de proposer des modèles dans lesquels son influence est absente. Le GIEC réplique en reconnaissant, bien sûr, que les cycles d'activité du Soleil qui affectent principalement la partie ultraviolette du spectre solaire, mais aussi le vent solaire et les rayons cosmiques, subissent de fortes variations de leur amplitude sur des périodes de plusieurs décennies. Mais comme ces éléments comptent peu dans l'ensemble de l'énergie totale rayonnée par le Soleil (ce que l'on appelle son irradiance), ils n'ont pas été pris en compte. Certains climato-sceptiques, IPGP notamment, suggèrent que le rayonnement ultraviolet pourrait, par son influence sur l'ionosphère en particulier, intervenir dans le réchauffement climatique, de même les rayons cosmiques pourraient jouer un rôle dans la formation des nuages et par là influencer également les variations de la température.

En ce qui concerne les rayons cosmiques, un physicien danois, Henrik Svensmarks entreprit d'examiner leur influence sur la formation des nuages. En effet pour que la vapeur d'eau puisse se transformer en fines gouttelettes d'eau liquide et aboutir à des nuages, il faut à ces dernières ce que l'on appelle des noyaux de condensation autour desquels elles peuvent s'agréger. Or précisément le flux des rayons cosmiques peut fournir des noyaux de condensation et donc avoir une influence sur la formation des nuages. Mais on sait que ce flux est modulé par l'activité du soleil (ce que l'on appelle la « modulation solaire »). Lorsque le vent solaire est important (période de grande activité solaire), les rayons cosmiques sont déviés de l'atmosphère terrestre, il se forme donc moins de nuages. La nébulosité ainsi diminuée, même de quelques pour cent, peut justifier un accroissement de la température terrestre puisque la part de l'énergie solaire réfléchiée par les nuages sera plus faible. Réciproquement, on constatera un abaissement de température pour une période de faible activité solaire présentant une nébulosité plus forte. Les premiers résultats de Svensmarks ont été jugés suffisamment intéressants pour qu'un vaste projet international soit mis sur pied au CERN, à Genève. Il s'agit du projet CLOUD. Actuellement les premiers résultats ne sont pas significatifs. Mais même si le projet CLOUD validait les idées de Svensmarks, il reste-

rait à faire un long travail pour quantifier le phénomène avant d'en arriver à établir que le Soleil par son activité sinon par son irradiance est un facteur essentiel du réchauffement climatique des dernières décennies.

Le GIEC, pour sa part, attend bien sûr les résultats de CLOUD mais il estime dès maintenant que l'activité du Soleil ne peut être un facteur dominant du réchauffement. Il fait remarquer qu'actuellement nous sommes dans un minimum d'activité solaire alors que nous n'assistons à aucune baisse de température tout au plus à un plateau, le fameux hiatus.

2.3. Réflexions personnelles

Chacun pourra se faire son opinion à partir des éléments que j'ai cherché à fournir le plus objectivement possible. Pour ma part, je retiens les points suivants:

1. Que le réchauffement climatique est bien établi mais qu'il est difficile de le quantifier avec précision. En effet, par le passé les températures moyennes pour l'ensemble de la Terre ne peuvent être estimées qu'avec des barres d'erreur importantes.
2. Que l'effet des GES, en particulier du CO₂, dans le bilan thermique de la Terre est reconnu (cf. mécanisme de l'effet de serre).
3. Que l'on constate une corrélation étroite entre température et teneur de l'atmosphère en CO₂ depuis 800 000 ans. Que l'étude de la dernière déglaciation faite en 2013 montre que cette corrélation se fait sans décalage temporel.
4. Si l'on met en parallèle les évolutions de l'activité solaire et du CO₂ atmosphérique du début de l'ère industrielle à nos jours, nous constatons :
 - De 1910 à 1950 et de 1975 à 1990, activité solaire et teneur en CO₂ augmentent avec la température terrestre et rendent difficile l'attribution à un facteur plutôt qu'à un autre.
 - De 1950 à 1975, la teneur en CO₂ augmente alors que l'activité solaire faiblit, la température est sensiblement stable.
 - Depuis 1990, la teneur en CO₂ augmente alors que l'activité solaire diminue et que la température croît jusqu'au fameux « hiatus »
5. Il a été démontré que l'accroissement de la teneur en CO₂ actuel est bien dû à l'homme.

Compte tenu de ces remarques, je me range à l'opinion du GIEC qui conclut à une influence anthropique au moins partielle dans le réchauffement climatique actuel. Je pense donc que Donald Trump a tort et que son retrait de l'accord de Paris est une grave erreur. Il me semble par contre indispensable d'étudier de plus près l'influence de l'activité solaire. Certains pensent même que « le hiatus » constaté dans la courbe de température entre 2000 et 2013 pourrait provenir d'une compensation entre l'effet de l'accroissement de la teneur en CO₂ et l'effet de la faible activité solaire. Si ceci s'avérait exact, nous pourrions être aidés par le Soleil pour lutter contre le réchauffement futur puisqu'il semble que la période de faible activité solaire actuelle tendrait à se poursuivre et que même certains astrophysiciens pensent qu'elle irait en s'amplifiant. Cela pourrait nous permettre de disposer de davantage de temps pour diminuer nos émissions de CO₂. Par contre, il ne serait pas raisonnable de profiter de ce répit pour reporter « *sine die* » l'effort à accomplir. D'autant plus qu'en dehors de l'effet de serre qu'il convient de réduire, il est essentiel de diminuer dès maintenant la pollution qui y est associée. En outre la remontée des températures 2014, 2015 et 2016 ne laisse qu'un espoir très ténu de voir le Soleil nous aider significativement.

3. Conclusion

Pour conclure, je ferai remarquer que quelles que soient les causes du réchauffement climatique, si ce réchauffement se poursuit, une Terre peuplée de bientôt neuf milliards d'habitants va se trouver confrontée à de réels problèmes. Sans tomber dans un catastrophisme exagéré, il est certain qu'à échéance de quelques générations, les Hommes vont devoir faire face à d'importantes migrations climatiques. L'une des premières probablement, et des plus importantes par son ampleur, concernera le Bangladesh dont 50% du territoire se trouve à moins d'un mètre au-dessus du niveau de la mer. Lorsque près de 200 millions de Bengalis vont être chassés vers l'Inde, ce sera l'humanité dans son ensemble qui devra résoudre cette question au risque d'une guerre climatique. Il suffit de constater que l'Inde actuellement encercle le Bangladesh d'un mur et d'une double barrière de barbelés de 3 200 km surveillés par 220 000 garde-frontières.

Une réflexion à l'échelle internationale seule pourra résoudre de tels problèmes. Pour ma part, étant optimiste, je pense que nos descendants sauront le faire mais il faudrait tout de même qu'ils n'attendent pas trop, même si la montée des océans d'environ 30 cm par siècle leur laisse une certaine marge.

BIBLIOGRAPHIE.

G.I.E.C., Rapports du G.I.E.C.

AREZKI Hacène, *Climat, Mensonges et Propagande*, Editions Thierry Souccar, 2010.

Académie des Sciences. Paris, *Séances publiques* des 16/12/2014 et 22/9/2015. Voir site.

RAMSTEIN Gilles, *Voyage à travers les climats de la Terre*, Editions Odile Jacob. 2015.