

Dioxyde de carbone ou forçage solaire?

Par [Nir Shaviv](#), le lundi 17 avril 2006, à 17 h 40

Rédigé par Nir J. Shaviv

Naturel ou anthropique? Quel mécanisme est responsable du réchauffement climatique au cours du 20^e siècle?

D'après la croyance populaire, les températures au cours du 20^e siècle se sont réchauffées et ce phénomène est principalement anthropique, les gaz à effet de serre (GES) étant le facteur dominant. D'autres personnes, habituellement appelées les « sceptiques », remettent cette position en question et déclarent plutôt que les variations de température sont le résultat de la variabilité naturelle. Comme je tenterai de le démontrer ci-après, la vérité se situe probablement entre ces deux extrêmes, les *causes naturelles* ayant sans doute été plus importantes au cours du siècle *passé*, tandis que les *causes anthropiques* prédomineront vraisemblablement au cours du siècle *suivant*. D'après les données empiriques que je décris plus bas, environ 2/3 (à plus ou moins un tiers près) du réchauffement devraient être attribués à la croissance de l'activité solaire, et le reste à des causes anthropiques.

Comme beaucoup d'autres, j'étais persuadé que le CO₂ était le grand coupable de l'histoire du réchauffement climatique. Cependant, après avoir examiné attentivement les données, j'ai pris conscience que les choses étaient bien plus compliquées que la théorie que nous rabâchent de nombreux climatologues ou que les histoires régurgitées par les médias. En effet, il faut aller chercher au-delà des apparences.

Quelles sont les preuves d'un effet anthropique?

La première question à aborder porte sur l'existence de preuves selon lesquelles les gaz à effet de serre (GES) sont responsables en majeure partie du réchauffement. En substance, nous constatons une hausse des températures au cours du 20^e siècle, ainsi qu'une hausse de la concentration globale de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre d'origine anthropique. Quels éléments de preuve établissent que la hausse des températures est causée par l'augmentation des émissions de GES?

En vérité, il n'existe aucune preuve réelle de l'existence de ce lien. La plupart des « preuves » souvent mentionnées dans les médias sont celles d'un réchauffement climatique (p. ex., la fonte

de la calotte glaciaire de l'Arctique). Mais qui a dit que ce réchauffement (qui s'est effectivement produit au cours du 20^e siècle) est attribuable aux GES? En fait, il n'existe aucune preuve substantielle soutenant que le CO₂ et d'autres GES constituent la principale cause du réchauffement, et non certains autres mécanismes. Vous avez sans doute lu des articles qui prétendent le contraire, indiquant qu'il existe des preuves manifestes, mais si vous les examinez plus attentivement, vous constaterez qu'il s'agit de simples *suggestions* d'un lien entre le CO₂ et les changements climatiques et non des *preuves*.

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat ([GIEC](#)) travaille sur la caractérisation des causes anthropiques. Plus particulièrement, leur rapport indique ceci ([IPCC TAR §12.2.3](#) en anglais):

« Différents modèles peuvent entraîner des schémas de réaction assez différents pour un même forçage, mais un modèle individuel peut donner lieu à une réaction étonnamment similaire à différents forçages. Le premier point signifie que les études d'attribution pourraient donner des résultats différents en utilisant des signaux provenant de divers modèles. Le second point indique qu'il pourrait être plus difficile que prévu de distinguer la réaction à différents facteurs, étant donné les différences de forçage radiatif. » [Traduction]

Par conséquent, il est difficile d'utiliser des modèles pour trouver des caractéristiques distinctives. Si vous lisez le Troisième rapport d'évaluation (TRE), en particulier le [chapitre 12](#) (en anglais), vous trouverez des affirmations selon lesquelles la différence entre le réchauffement dans les latitudes Nord et Sud, et entre le réchauffement troposphérique et stratosphérique peut s'expliquer par l'utilisation de GES anthropiques, de concert avec les aérosols sulfatés, l'ozone stratosphérique et même le forçage solaire (irradiation solaire totale). En l'occurrence, la combinaison de facteurs explique plutôt bien le réchauffement climatique ([IPCC TAR §12.4.3.2](#) en anglais) :

« En résumé, les études effectuées à l'aide de modèles fixes indiquent qu'il est peu probable (voire très peu probable) que le récent réchauffement soit dû à la variabilité interne du climat. Une réaction substantielle aux gaz à effet de serre anthropiques semble être nécessaire pour expliquer les récentes tendances de la température, mais la majorité des études indiquent que les gaz à effet de serre ne peuvent à eux seuls expliquer l'évolution des températures. L'inclusion de la réaction aux effets directs des aérosols sulfatés fournit habituellement une explication plus satisfaisante aux changements observés, bien que l'amplitude du signal propre aux aérosols sulfatés dépende du modèle utilisé. Ces études fournissent également certaines preuves de la contribution des variations solaires au réchauffement survenu au début du siècle. » [Traduction]

Mais en soi, cela ne prouve pas que les GES constituent la principale cause. Ces résultats concordants indiquent seulement que les émissions de CO₂ peuvent expliquer le réchauffement,

et non qu'elles sont la seule explication possible. Sans autres « suspects », il s'agirait de preuves *circonstanciées* incriminantes. Toutefois, il existe bien un autre très bon candidat à l'origine d'une grande partie du réchauffement, comme je l'explique ci-dessous.

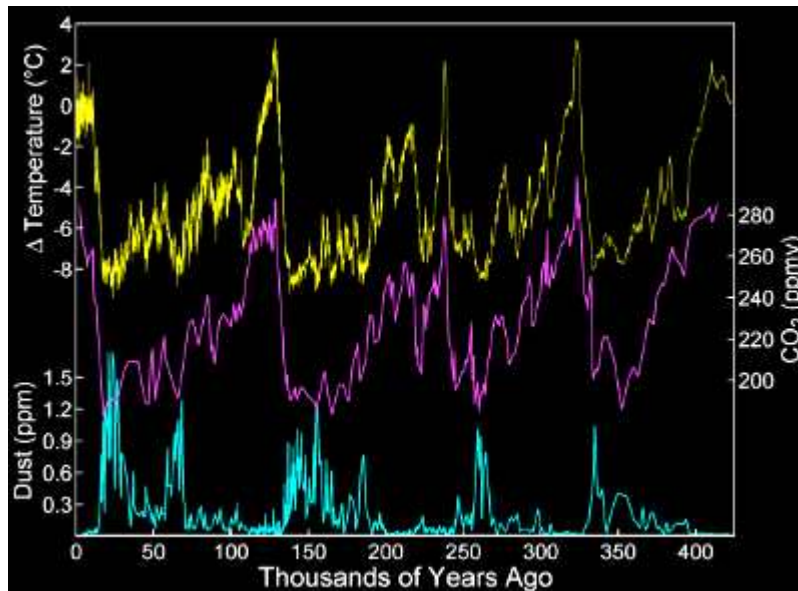


Figure 1 : Corrélation entre le CO₂ atmosphérique et le climat. Non, cela ne prouve pas que le CO₂ est un important facteur responsable du changement climatique, puisque la production de CO₂ peut être stimulée par les changements de température. Plus précisément, les océans dont la température a augmenté nécessitent des pressions partielles de CO₂ atmosphérique plus importantes pour contenir les gaz dissous en eux. Bien entendu, certaines variations de température pourraient provenir de l'amplification des concentrations de CO₂, mais il n'y a aucun moyen de déterminer quelle proportion.

Bien sûr, la belle corrélation entre les reconstitutions de la concentration de CO₂ et l'évolution des températures sur Terre sur une échelle chronologique de plusieurs millénaires, comme on le voit sur la Figure, est souvent utilisée pour démontrer le rôle du CO₂ dans les importantes variations climatiques. Cela induit souvent les profanes en erreur, les poussant à croire que le CO₂ est le facteur responsable du réchauffement, alors qu'en fait, ce pourrait être l'inverse, à savoir que les températures du globe influent sur l'équilibre des concentrations de CO₂. La vérité pourrait se situer quelque part entre les deux : les concentrations de CO₂ sont affectées par les températures et, en retour, entraînent des variations de température plus importantes. Toutefois, cette corrélation ne peut à elle seule être utilisée pour quantifier l'effet du CO₂ sur le climat, lequel pourrait aller d'aucun effet à l'intégralité des effets. Ainsi, aucune preuve n'indique que le CO₂ constitue la principale cause des variations observées au cours du 20^e siècle. Une telle preuve n'existe pas.

D'après moi, il y a deux principales raisons pour lesquelles les GES sont tenus responsables du réchauffement climatique, même en l'absence de réelles preuves incriminantes :

- En théorie, les concentrations accrues de GES sont censées faire augmenter les températures.
- Il n'y a pas d'autre mécanisme à l'origine du réchauffement. En l'absence d'un autre candidat, le seul suspect, à savoir les GES, est nécessairement en cause.

Ces affirmations sont raisonnables, si ce n'est qu'elles ne fonctionnent pas dans le cas du réchauffement anthropique. En ce qui concerne le premier point, nous verrons ci-dessous que même le signe évocateur d'une contribution anthropique reste inconnu, sans parler de son ampleur.

Quant au second point, il existe un autre bon mécanisme à mettre en cause, celui de forçage solaire *indirect*. Ce mécanisme peut expliquer le réchauffement observé au cours du 20^e siècle aussi bien que le CO₂, sinon mieux.

Le facteur anthropique – Quelle proportion prend-il?

Si nous voulons évaluer de façon *théorique* l'ampleur de la contribution du facteur anthropique dans le réchauffement climatique du 20^e siècle, nous devons répondre à deux questions : quelle est l'ampleur de la contribution anthropique à la modification du bilan radiatif, et de quelle façon la modification du bilan radiatif affecte les températures terrestres. Commençons par la contribution humaine.

En moyenne, la surface de la Terre reçoit un flux radiatif d'environ 240 watts/m². Bien entendu, les régions équatoriales reçoivent plus de flux que les régions polaires, c'est pourquoi ce chiffre représente une moyenne.

L'effet produit sur le climat par différents mécanismes terrestres est habituellement quantifié par leur contribution au changement net observé sur le flux de radiation moyen. Par exemple, le doublement de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère modifie le bilan radiatif d'environ 4 W/m² (3,8 W/m² pour être plus exact), comme si le soleil était $4/240 \times 100 = 1,7\%$ plus brillant.

Le rapport scientifique du GIEC tente de résumer les effets de tous les facteurs de forçage, lesquels sont illustrés dans le célèbre graphique présenté ci-après sur le forçage radiatif. Plusieurs points intéressants sont à souligner. Tout d'abord, il existe une grande incertitude en ce qui concerne la contribution anthropique appelée *effet indirect des aérosols*. Cet effet découle du fait que les quantités accrues de petites particules émises dans l'atmosphère modifient les propriétés des nuages. Ce phénomène est particulièrement visible en aval des cheminées d'usine ou dans les nuages côtiers sous la forme de traînées de condensation. Comme la formation des nuages et, plus particulièrement, les propriétés des nuages ne sont pas bien comprises, l'effet

indirect des aérosols est très incertain. Le deuxième point à relever porte sur le forçage solaire de $0,3 \text{ W/m}^2$ mentionné par le GIEC. Celui-ci n'inclut pas l'effet du flux de rayons cosmiques modulé par le soleil, étayé par de nombreuses preuves et très peu réfuté. Si l'on inclut les effets des rayons cosmiques, 1 W/m^2 supplémentaire devrait être ajouté en raison de l'activité solaire accrue (ce qui réduit le flux de rayons cosmiques atteignant la Terre, conformément aux explications qui suivent).

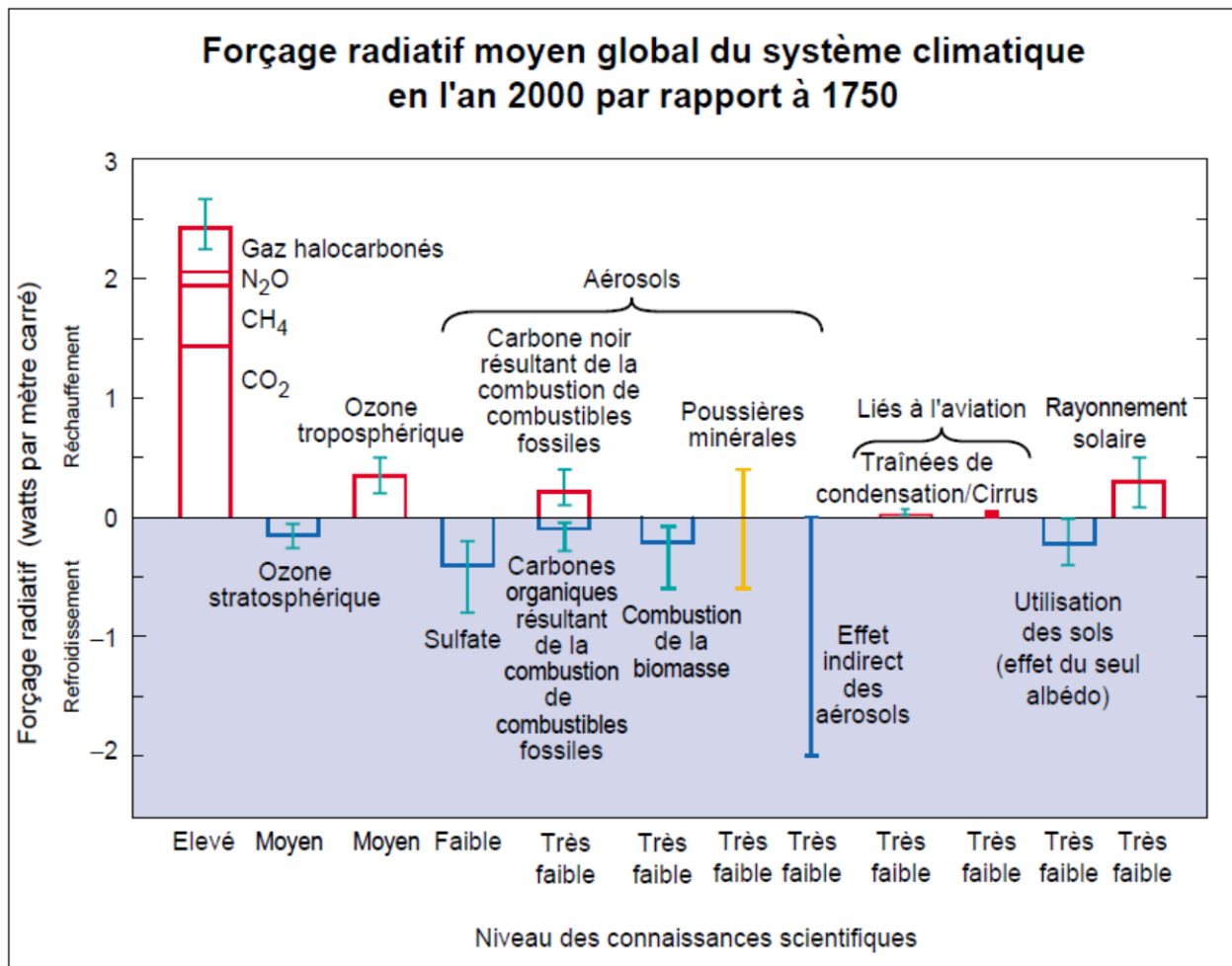


Figure 2 : Contributions naturelles et anthropiques au forçage radiatif net. Figure tirée du TRE du GIEC. Si l'on ajoute [leurs chiffres](#) (lesquels sont censés rendre compte d'un consensus collectif), on découvre un forçage anthropique de $0,8 \pm 1,3 \text{ W/m}^2$ (où les erreurs ont été ajoutées en quadrature, assumant l'indépendance des résultats). En d'autres termes, la grande incertitude entourant les effets *indirects des aérosols* signifie que le *signe* évocateur d'une contribution anthropique est inconnu!

Évidemment, nous ne connaissons pas le forçage anthropique total ni le signe par lequel il se manifeste. Nous ne connaissons pas non plus son ampleur. Tout ce que nous pouvons dire, c'est qu'il devrait se situer entre -1 et $+2 \text{ W/m}^2$. Cela peut paraître étrange, mais en réalité nous pourrions avoir refroidi la Terre (bien qu'il soit plus probable que nous l'ayons réchauffée). C'est

pour cette raison que dans les années 1970, des préoccupations ont été soulevées sur le fait que les humains *refroidissaient* les températures terrestres. Celles-ci ont paru chuter entre les années 1940 et les années 1970, et certains ont pensé que les aérosols anthropiques pourraient être la cause du refroidissement climatique observé, et que nous pourrions déclencher une nouvelle ère glaciaire (p. ex., [consultez Wikipédia pour obtenir un résumé](#) en anglais).

Sensibilité du climat

Par la suite, si nous souhaitons traduire la contribution anthropique du bilan radiatif (en supposant que nous le connaissions!) par un changement climatique, nous devons connaître la *sensibilité du climat de la planète*. En d'autres termes, nous devons connaître le changement λ en °C associé au forçage radiatif de 1 W/m^2 . Il peut également être exprimé avec ΔT_{x2} , soit la hausse de la température associée à un doublement de la concentration de CO_2 , c'est-à-dire, un changement de $3,8 \text{ W/m}^2$ dans le bilan radiatif. Si la Terre s'était comportée comme un [corps noir](#) idéal, sa sensibilité serait de $\lambda \approx 0,3^\circ\text{C}/(\text{W/m}^2)$, ou $\Delta T_{x2} \approx 1,2^\circ\text{C}$. Cependant, la sensibilité de la Terre n'est pas nécessairement la même que celle d'un corps noir idéal. La raison en est que comme la température change, les autres variables ayant une incidence sur la température changent également. Par exemple, une hausse du bilan radiatif entraîne une hausse de la température. Cela fera augmenter la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère. Toutefois, la vapeur d'eau est un important gaz à effet de serre, contribuant alors à augmenter davantage la température, produisant ainsi une *rétroaction positive*, laquelle augmente la sensibilité. Par ailleurs, des concentrations plus élevées de vapeur d'eau atmosphérique donnent lieu à une plus grande couverture nuageuse. Comme les nuages favorisent nettement le refroidissement, ils permettront de compenser la hausse de la température, produisant alors une *rétroaction négative* qui diminue la sensibilité.

Le problème avec les représentations numériques du système climatique, c'est que les rétroactions, en particulier celles qui portent sur la couverture nuageuse, sont très mal définies. Par conséquent, toute valeur située dans l'intervalle $T_{x2} \approx 1,5\text{-}4,5^\circ\text{C}$ est considérée comme possible selon le GIEC. En d'autres termes, d'après la théorie (d'après les représentations numériques pour être plus exact), le changement de température associé au doublement des concentrations de CO_2 n'est pas établi avant d'atteindre un facteur de 3!

Le CO_2 peut-il donc être mis en cause?

Manifestement, d'après les scientifiques à l'origine du rapport du GIEC, à savoir ceux qui *soutiennent* les mesures du protocole de Kyoto :

- L'ampleur de la contribution anthropique réelle à une modification du bilan radiatif n'est pas clairement définie (là encore, même le signe d'un effet anthropique demeure inconnu).
- Même si le forçage radiatif anthropique était mieux connu, d'un point de vue théorique, on ignore de combien la température aurait dû varier en conséquence.

Pour connaître la variation de température due à l'activité anthropique, il faut multiplier ces deux nombres. Évidemment, la théorie ne peut nous apprendre l'ampleur précise du réchauffement planétaire dont nous avons été témoins, ni quelle sera son ampleur à l'avenir. Je vous encourage vivement à consulter ces chiffres dans le [rapport du GIEC](#), et à constater par vous-même qu'il s'agit d'une conclusion inévitable.

À l'évidence, la mise en cause du CO₂ (et d'autres GES) s'explique essentiellement par le fait que nous nous attendons à ce qu'il provoque un réchauffement (voir la figure 4) et que nous observons ce réchauffement (voir figure 3), mais il se trouve qu'il existe d'autres suspects.

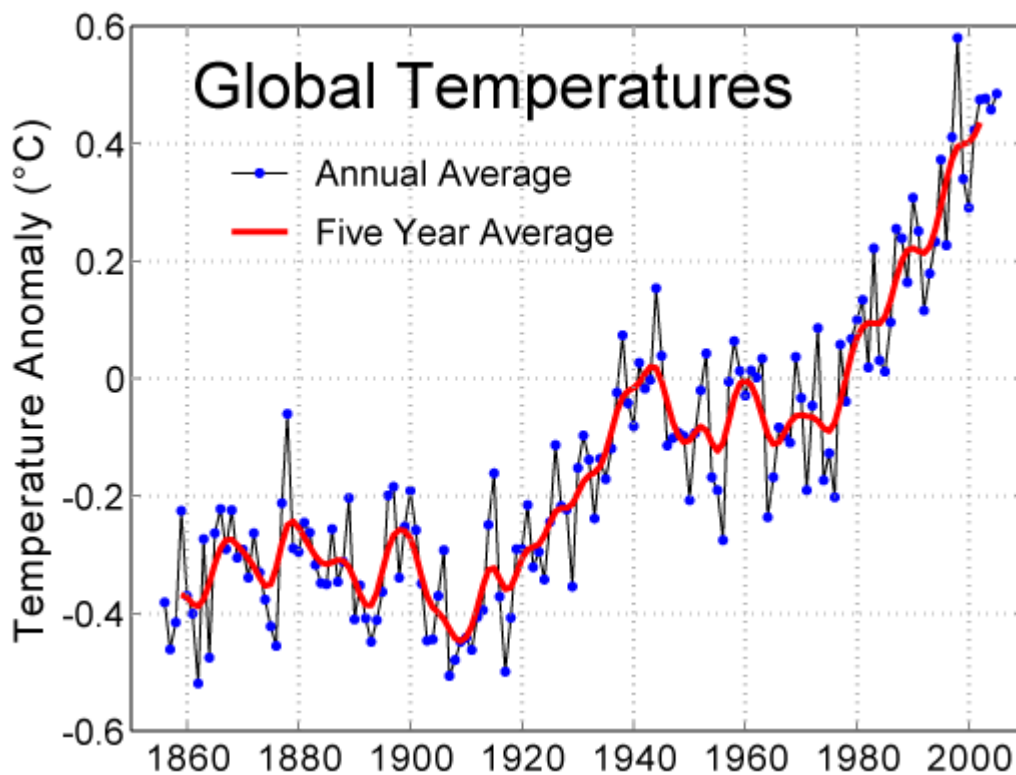


Figure 3 : Réchauffement planétaire au cours du 20^e siècle. La moitié du réchauffement a eu lieu au début du siècle précédent, bien avant que l'essentiel de l'influence humaine soit exercé. Ce réchauffement est-il d'origine naturelle ou dû à l'activité humaine? (Source de l'image : [Wikipédia](#))

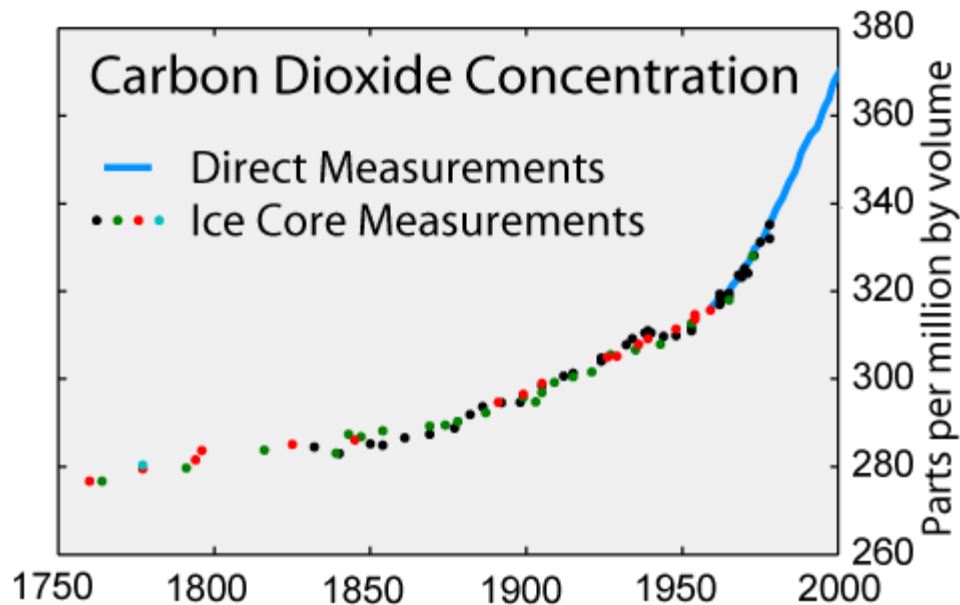


Figure 4 : Dioxyde de carbone atmosphérique. Tout comme la température planétaire, les concentrations de CO₂ ont augmenté au cours du 20^e siècle. Étant donné qu'en théorie, nous nous attendons à ce que les gaz réchauffent l'atmosphère, le CO₂ est souvent mis en cause comme principal responsable du réchauffement planétaire. Cependant, il n'existe aucune preuve directe que c'est bien *lui* le coupable et non un autre mécanisme. (Source de l'image : [Wikipédia](#))

Une autre explication au réchauffement climatique, ou au moins une partie

L'activité solaire semble avoir un effet sur le climat. C'est ce qui ressort de nombreuses corrélations différentes entre l'activité solaire, d'un côté, et le climat, de l'autre. Ces corrélations sont observées sur des échelles chronologiques allant d'un cycle solaire de 11 ans à de nombreux millénaires (pour voir les deux plus belles corrélations, consultez les articles de Neff *et al.*, et de Bond *et al.* figurant dans les références ci-après). Un tel lien peut avoir de l'importance dans le cadre du réchauffement climatique, car au cours du 20^e siècle, l'activité solaire s'est accrue.

Comme les variations climatiques corrélées à l'activité solaire sont importantes, mais que les variations du rayonnement solaire total sont relativement faibles (seulement 0,1%), ces dernières n'expliquent vraisemblablement pas la variabilité du climat. En revanche, différents mécanismes d'amplification ont été suggérés, des mécanismes pouvant amplifier les composantes non thermiques du soleil (p. ex., les UV, les rayons X, le vent solaire) et qui peuvent varier considérablement entre une activité solaire intense et calme.

Le principal mécanisme pouvant expliquer la grande variabilité du climat induite par l'activité solaire est celui de la modulation par le vent solaire du flux de rayons cosmiques atteignant la

Terre. Celui-ci influe sur le climat en modulant le niveau d'ionisation atmosphérique. Au cours de la dernière décennie, de nombreux éléments de preuve différents ont permis de composer un tableau plutôt cohérent.

L'activité solaire se manifeste de nombreuses façons, notamment par un vent solaire variable. Ce flux de particules énergétiques et de champs magnétiques entremêlés émane du soleil et fait obstacle à un flux de particules plus énergétiques, les rayons cosmiques, provenant de l'extérieur du système solaire. Un soleil plus actif produisant un vent solaire plus fort atténuera donc le flux de rayons cosmiques atteignant la Terre. L'élément central de ce phénomène réside dans le fait que les rayons cosmiques constituent le principal mécanisme physique contrôlant le niveau d'ionisation de la troposphère (environ 10 km de la surface terrestre). Ainsi, un soleil plus actif réduira le flux de rayons cosmiques et avec lui, le niveau d'ionisation troposphérique. Enfin, ce niveau d'ionisation affecte la production des noyaux de condensation nécessaires à la formation de nuages dans un milieu marin propre. Par conséquent, une activité solaire plus intense inhibera la formation de noyaux de condensation des nuages, et les nuages côtiers de basse altitude qui en résultent contiendront de plus grosses gouttes, moins blanches et qui disparaissent plus rapidement, réchauffant ainsi la Terre.

Aujourd'hui, il existe suffisamment d'éléments de preuve pour étayer ce raisonnement (vous trouverez une courte introduction en anglais [ici](#)). On a notamment découvert que des variations du flux de rayons cosmiques isolées, d'origine galactiques et qui n'ont rien à voir avec l'activité solaire, ont également une [influence sur le climat](#), comme un tel lien le laisse supposer. Il existe de nombreux autres exemples. *[Note supplémentaire (le 4 octobre 2006) : Ces [résultats expérimentaux récemment publiés](#) renforcent la validité de ce lien, comme prévu]*

Ainsi, pourquoi ce lien est-il important pour le réchauffement climatique? Comme il a été mentionné précédemment, l'activité solaire a augmenté au cours du 20^e siècle, comme le montre la figure 5. Nous prévoyons donc un réchauffement découlant de la réduction du flux de rayons cosmiques. En outre, comme le flux de rayons cosmiques a vraisemblablement connu une légère hausse entre les années 1940 et 1970 (comme le montrent les données de la chambre d'ionisation dans la figure 6), ce mécanisme explique également de façon naturelle la baisse de température observée durant la même période.

À l'aide des variations historiques du climat et des flux de rayons cosmiques, il est possible de [quantifier de façon empirique](#) la relation entre les variations de flux de rayons cosmiques et le changement climatique, et de déterminer la contribution du soleil au réchauffement ayant eu lieu au cours du 20^e siècle. Cette contribution se révèle être de $0,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$ au réchauffement climatique observé de $0,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$ (Shaviv, 2005).

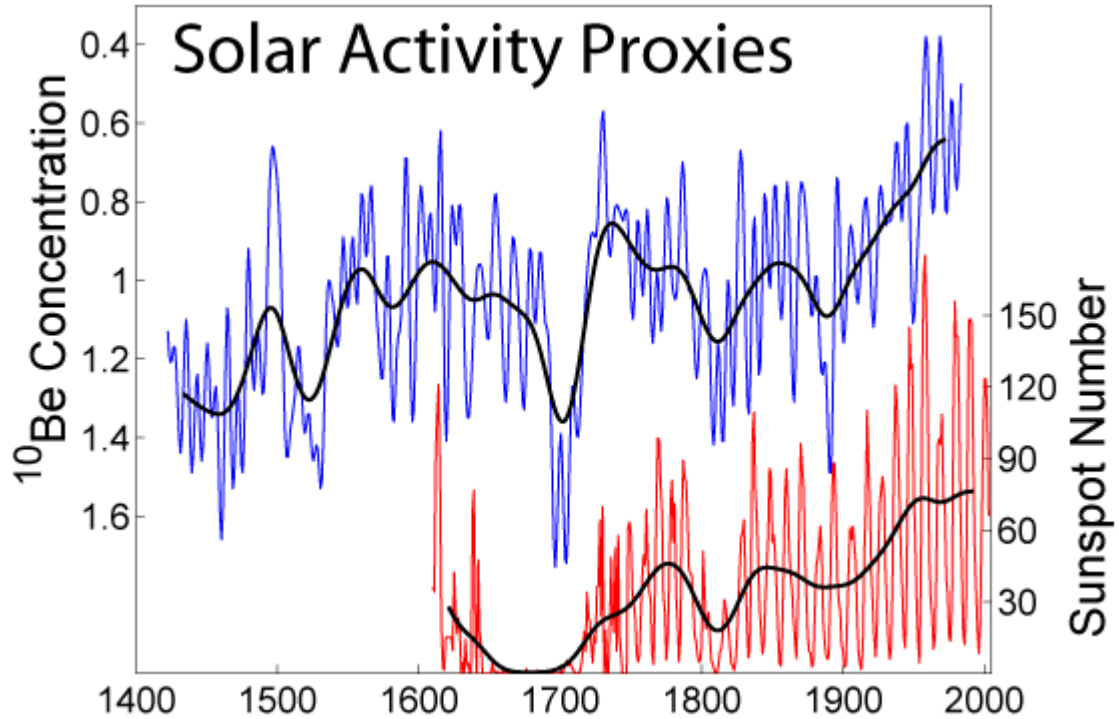


Figure 5 : L'activité solaire au cours des derniers siècles peut être reconstituée à l'aide de différents indicateurs. Ces reconstitutions démontrent que l'activité au cours du 20^e siècle est sans précédent depuis les 600 dernières années (les dernières périodes d'intense activité solaire remontent à il y a environ 1 000 ans et 8 000 ans). Plus particulièrement, il s'agit de taches solaires et de béryllium 10 (^{10}Be). Ce dernier est produit dans l'atmosphère par des rayons cosmiques d'environ 1GeV, modulés par le vent solaire (vent solaire plus fort → moins de rayons cosmiques → moins de ^{10}Be). Veuillez noter que ces deux indicateurs ne tiennent pas compte de la réduction des rayons cosmiques de haute énergie observée depuis les années 1970, contrairement aux données de la chambre d'ionisation (voir figure 6). (Source de l'image : [Wikipédia](#))

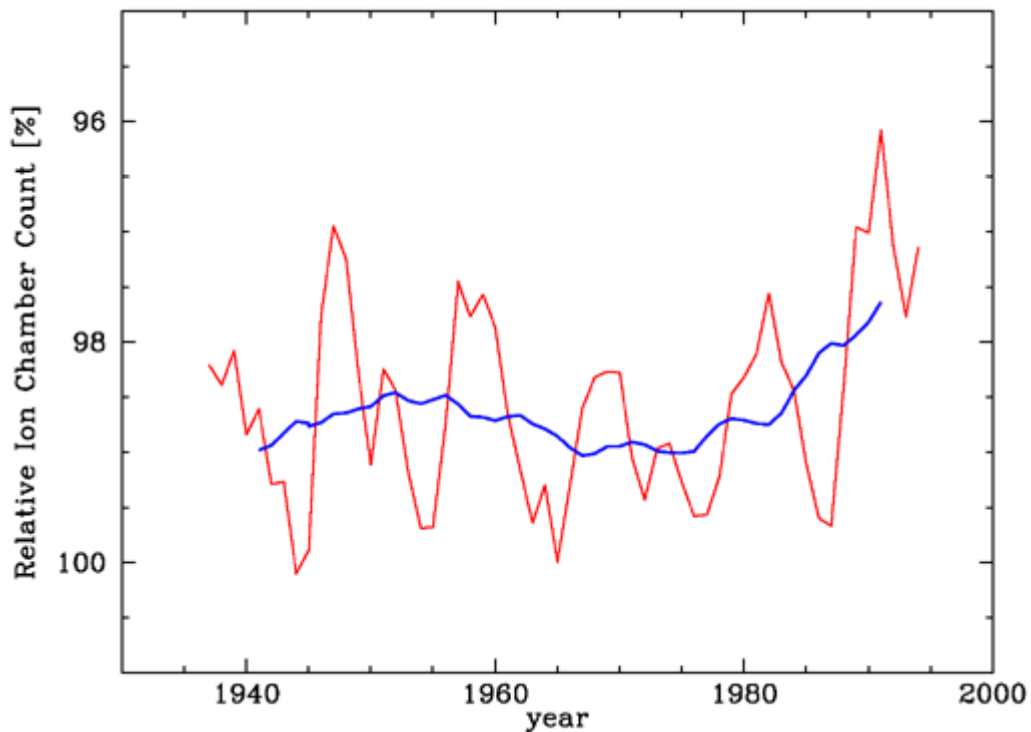


Figure 6 : Flux de rayons cosmiques atteignant la Terre, mesure par chambre d'ionisation. Ligne rouge : moyennes annuelles, ligne bleue : moyenne mobile de 11 ans. Veuillez noter que les chambres d'ionisation sont sensibles aux particules à un niveau d'énergie relativement élevé (plusieurs dizaines de GeV, ce qui est plus élevé que les énergies responsables de l'ionisation atmosphérique [~ 10 GeV], et bien plus élevé que les énergies responsables de la production de ^{10}Be [~ 1 GeV]). Représentation graphique redessinée à partir des données d'Ahluwalia (1997). En outre, la baisse des rayons cosmiques de haute énergie observée depuis les années 1970 est moins prononcée au niveau des indicateurs à faible énergie de l'activité solaire, suggérant ainsi que les isotopes cosmogéniques (comme le ^{10}Be) ou les indicateurs directs d'activité solaire (p. ex., les taches solaires, l'indice aa , etc.) sont moins précis pour établir le lien unissant l'activité solaire \rightarrow les rayons cosmiques \rightarrow le climat, ainsi que la contribution de ce lien au réchauffement climatique du 20^e siècle.

Résumé

Comme expliqué plus haut, il n'existe pas de véritable preuve directe pouvant être utilisée pour mettre en cause les gaz à effet de serre anthropiques comme principal facteur responsable du réchauffement climatique observé. Ces gaz sont pointés du doigt principalement (1) parce que

nous nous attendons à ce qu'ils provoquent un réchauffement et, en effet, la température de la planète augmente, et (2) parce qu'aucun autre mécanisme ne peut expliquer ce phénomène.

Bien que ce raisonnement paraisse logique, il se trouve (1) que nous ne connaissons même pas le signe évoquant une contribution anthropique (en raison des effets indirects inconnus des aérosols) et (2) qu'il existe un autre mécanisme pouvant expliquer en grande partie le phénomène de réchauffement.

L'activité solaire peut faire la lumière sur une grande partie du réchauffement climatique du 20^e siècle, à condition qu'il existe un lien solide entre l'activité solaire et le climat par la modulation du flux de rayons cosmiques et de l'ionisation atmosphérique. Les preuves de l'existence d'un tel lien s'accumulent depuis la dernière décennie si bien qu'à présent, il est peu probable qu'elle soit contestée.

Ce lien implique également que la sensibilité climatique de la Terre est [également relativement faible](#). Par conséquent, si nous doublons les concentrations de CO₂ d'ici 2100, les températures n'augmenteront que d'environ 1°C, ce qui est quand même plus important que le changement observé au cours du siècle dernier. C'est une bonne nouvelle, car cela indique que les futures hausses de concentrations de GES dans l'atmosphère n'entraîneront pas une augmentation spectaculaire de la température du globe, même si les GES constitueront probablement le facteur dominant du changement climatique.

Éclaircissements

Comme vous l'avez sans doute compris, je suis convaincu que le protocole de Kyoto n'est pas la bonne solution. Je tiens néanmoins à préciser qu'il existe des dizaines de *bonnes* raisons pour lesquelles nous devrions nous efforcer de brûler moins de combustibles fossiles.

Les deux principales raisons pour lesquelles les combustibles fossiles sont nocifs sont bien sûr la pollution et l'épuisement des ressources, tandis que les raisons moins importantes comprennent par exemple le fait que de nombreuses réserves de combustibles fossiles sont contrôlées par des gouvernements hostiles.

Ainsi, je suis très en faveur, et l'ai toujours été, d'une utilisation réduite des combustibles fossiles et de la préservation de l'environnement (je suis fier de dire que j'ai grandi dans une maison solaire), mais nous devrions agir pour les bonnes raisons et non les mauvaises (et je trouve que le protocole de Kyoto n'invoque pas les bonnes raisons). Je suis donc en faveur du développement de solutions bon marché comme l'énergie solaire, l'énergie éolienne et bien sûr

les réacteurs à fusion (convertissant du deutérium en hélium) que nous devrions avoir dans quelques décennies, mais c'est une tout autre chose.

Autres documents à lire

1. Un court exposé présentant des preuves de la contribution des rayons cosmiques et du climat figure dans cet [article non technique](#). Dans quelque temps, un résumé détaillé de toutes les preuves établissant l'existence d'un lien entre les rayons cosmiques et le climat apparaîtra sur ce site.
2. Davantage de données sur les déterminations empiriques de la sensibilité de la Terre au climat et en, particulier, du rôle des rayons cosmiques, se trouvent [ici](#) (plutôt technique).
3. Le meilleur exemple de variations climatiques induites par le flux des rayons cosmiques et non liées à l'activité solaire se trouve dans le passage du Système solaire entre les [bras spiraux de la Voie lactée et dans le signal paléoclimatique clairement observé](#).

Notes et références

1. Tous les renseignements sur les preuves du réchauffement climatique, les facteurs de changement climatique anthropique et les modèles numériques figurent dans les rapports scientifiques du [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat \(GIEC\)](#). Leurs rapports n'incluent aucune des données relatives au forçage solaire.
2. Sans doute la plus belle corrélation entre une activité solaire et des indicateurs climatiques figure dans les travaux de U. Neff *et al.*, « Strong coherence between solar variability and the monsoon in Oman between 9 and 6 kyr ago », *Nature* **411**, 290 (2001).
3. Une autre belle corrélation entre l'activité solaire et le climat se trouve dans les travaux de G. Bond *et al.*, « Persistent Solar Influence on North Atlantic Climate During the Holocene », *Science*, **294**, 2130-2136, (2001).
4. L'analyse détaillée derrière les déterminations empiriques de la sensibilité de la Terre et, en particulier, le rôle des rayons cosmiques se trouve dans : Shaviv N., « On Climate Response to Changes in the Cosmic Ray Flux and Radiative Budget », *JGR-Space*, vol. 110, A08105, 2005, [\(PDF\)](#).