



Guy Maurin

Octobre 2023

Climat et CO₂

Cet article traite de l'influence du CO₂ sur le climat. Il s'agit d'une approche scientifique, bien que le carbone soit devenu un sujet politique.

L'origine du Carbone

A l'époque du big bang, il y a 13,7 milliards d'années, il n'y avait que des particules élémentaires. Puis des atomes légers H₂ et He se sont formés. Dans les étoiles qui sont d'immenses réacteurs de fusion nucléaire, se sont formés des éléments plus lourds, qui constituent les planètes rocheuses comme Vénus, la Terre et Mars. Le carbone s'est formé en même temps que ces roches et il est toujours présent dans les météorites, vestiges de ces périodes.

Les planètes du système solaire se sont formées il y a 4,5 milliards d'années en rassemblant des produits de combustion des étoiles. Ces roches contenaient beaucoup de CO₂ qui s'est trouvé très majoritaire dans les atmosphères de Vénus et Mars qui contiennent toujours 96% de CO₂ et de la Terre dont la pression de CO₂ aurait atteint 10 bars. Voici les concentrations en CO₂ et températures moyennes actuelles des planètes voisines de la Terre :

	Vénus	Terre	Mars
Distance soleil	0,7UA	1UA	1,5UA
CO ₂	96,5%	0,04%	96%
Température	477°C	15°C	- 63°C

Les températures dépendent d'abord de la distance au soleil et peu du CO₂.

Contrairement à Vénus et Mars, la Terre a conservé son eau. Sur Terre, le CO₂ s'est dissous dans les océans et s'est transformé en calcaire sous forme de carbonates. Les plantes, par photosynthèse, ont consommé du CO₂ et produit l'oxygène que nous

respirons et les combustibles fossiles. Le carbone, capable de se lier avec 4 autres atomes, constitue la base de la chimie organique, indispensable à la vie ; on ne connaît pas de vie sans carbone. Le CO₂ atmosphérique a donc beaucoup diminué jusqu'aux 0,04% actuels qui représentent peu devant les réserves considérables de carbonates rocheux et de CO₂ océanique dissous.

L'histoire géologique du CO₂ et du climat

L'influence des cycles astronomiques de Milankovic

Le soleil dépasse très largement les autres sources d'énergie terrestres humaine, géothermique ou marée-motrice ; le climat est donc d'abord piloté par les variations de la puissance du soleil et par les cycles astronomiques de l'orbite terrestre. Au début du 20^{ème} siècle, l'astronome serbe Milankovic a émis l'idée que les cycles astronomiques de l'orbite terrestre pilotent les cycles climatiques et, en particulier, les glaciations. Les autres planètes perturbent l'excentricité, l'obliquité et la précession de l'orbite de la Terre. Cette théorie n'a cependant été validée qu'en 1976 avec l'article fondamental de JD. Hays et al qui a démontré que les cycles climatiques correspondent aux cycles astronomiques par cyclostratigraphie.

Trois indicateurs du climat, l'O¹⁸, des radiolaires et Cycladophora Davisiana, ont été analysés dans des carottes de sédiments des derniers 450 000 ans déposés au fond de l'océan. L'O¹⁸ mesuré dans les sédiments marins est un indicateur de la masse des glaces et permet de détecter les glaciations. Les radiolaires sont des organisme unicellulaires marins, de petite taille, en général inférieure au mm, mais très nombreux. A leur mort, leurs carapaces sédimentent au fond des océans au rythme de 3mm/1000ans.

Certains radiolaires sont un marqueur de la température des océans. *C. Davisiana* est un radiolaire différent, qui se multiplie lors des glaciations.

L'analyse fréquentielle des évolutions de ces indicateurs met en évidence 3 pics aux périodes de 23 000, 42 000 et 100 000 ans qui correspondent aux périodes des cycles astronomiques. Les évolutions de l'orbite terrestre sont donc bien la cause fondamentale des glaciations du Quaternaire.

Un modèle du climat futur, basé sur les relations climat-orbite observées, ignorant les effets anthropogéniques, prédit que la tendance pour les prochains 20 000 ans est un refroidissement et une glaciation dans l'hémisphère nord.

Par ailleurs, des carottes de glace de l'Antarctique et du Groenland ont été analysées. On y retrouve des évolutions du CO_2 qui correspondent aux cycles de Milankovic ; ces évolutions du CO_2 sont les conséquences des évolutions astronomiques du climat et non pas leur cause. La croissance du CO_2 suit celle des températures. Les océans relâchent du CO_2 lorsque leurs températures augmentent, car la solubilité du CO_2 diminue.

L'histoire récente du CO_2 et du climat

Les variations du CO_2

Le NOAA publie les courbes ci-dessous des mesures du CO_2 de l'observatoire du volcan Mauna Loa à Hawaï ; cette courbe est la référence mondiale car c'est la plus longue série disponible.

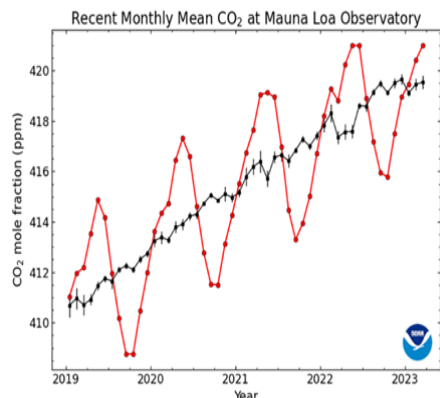
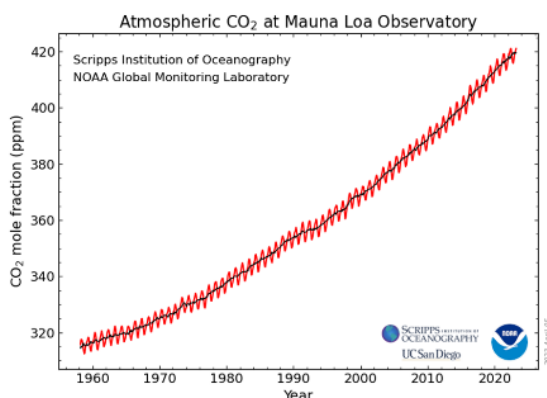


Figure 1 : Evolution du CO_2 de 1958 à 2023

Figure 2 : Evolution mensuelle du CO_2

Mesures moyennes mensuelles en rouge, corrigées des saisons en noir.

Le CO_2 a cru régulièrement de 315 ppm en 1958 à 420 ppm en 2023, à 2 ppm/an. Le NOAA a estimé à 280 ppm la concentration préindustrielle en 1800 d'après des mesures sur une carotte de glace de l'Antarctique entre 1000 et 1800.

On notera qu'en 2020, le COVID a provoqué une récession mondiale et a bloqué tous les avions au sol, ce qui n'a pas influencé le CO_2 qui a continué à augmenter comme chaque année (fig2) ; ce fait jette un doute sur l'origine exclusivement anthropique de la croissance du CO_2 . On constate aussi que, pour avoir un effet, les mesures de réduction doivent être mondiales et plus fortes que celles dues au COVID.

Chaque année (fig2), le CO_2 est minimum en été, lorsqu'il fait chaud, et maximum en hiver. Le CO_2 ne refroidit pas la température l'hiver ; la végétation absorbe du CO_2 l'été dans l'hémisphère nord dont la surface des terres émergées l'emporte sur celle de l'hémisphère sud.

Les échanges de CO_2 entre les océans et l'atmosphère représentent 10 fois l'émission de CO_2 anthropique due aux combustibles fossiles. De même, l'émission de CO_2 des plantes en décomposition et l'absorption de CO_2 par la végétation représentent 10 fois les émissions humaines. Le bilan entre ces échanges est

incertain. Les émissions anthropiques et le dégazage des océans dû au réchauffement sont les principales causes de la croissance du CO₂. Contrairement à ce que prétend le GIEC, le CO₂ anthropique ne reste que 5 ans dans l'atmosphère et non des milliers d'années. L'émission humaine de CO₂ diminue en Amérique et en Europe mais augmente en Chine, Inde et Indonésie qui ouvrent de nouvelles mines de charbon.

Les fluctuations des températures

A un instant donné, il y a 100 °C d'écart entre les températures des lieux les plus froids et les plus chauds. Ces températures fluctuent à chaque instant du jour et de la nuit. La température moyenne de la Terre est une moyenne théorique qui dépend du maillage territorial et temporel. La transparence de la sensibilité au maillage laisse à désirer et les incertitudes sont optimistes ; il y a un siècle, les zones blanches étaient nombreuses et les températures moyennes dépendent des estimations qui les ont remplacées.

Les mesures météo sont denses dans les pays développés et sur les routes maritimes et clairsemées ailleurs. Les stations météo, qui étaient à la campagne, s'urbanisent, donc s'échauffent de 3 °C à 4°C. Les marins prélevaient l'eau des océans avec des seaux, puis on a mesuré l'eau de refroidissement des machines des bateaux. Les changements de méthode et les évolutions de la couverture géographique ont conduit à de nombreux ajustements.

La courbe de température Hadcrut4 (fig3), ci-dessous, est une des références mondiales.

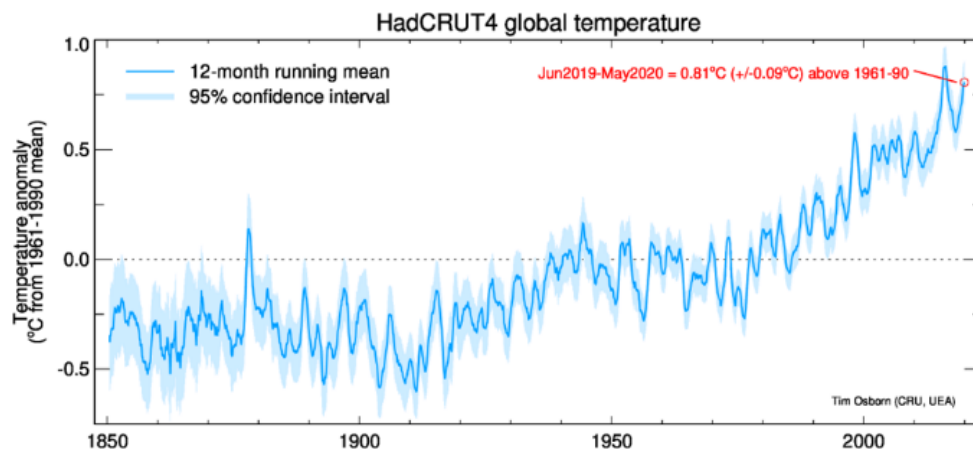


Figure 3 : Température moyenne de la Terre par le Hadley Center

La température fluctue annuellement de manière chaotique et ne suit pas la croissance régulière du CO₂. Pendant 2 périodes de 30 ans, de 1878 à 1910 et de 1945 à 1970, la température a baissé alors que le CO₂ augmentait. La température de 1878 fut supérieure à celle de 1978 et l'augmentation de la température n'est marquée qu'à partir de 1970. Après l'augmentation régulière de 1970 à 2000, la température s'est stabilisée sur un palier de 2000 à 2018, ce que les modèles du GIEC n'ont pas prédit. La réduction effective des aérosols d'origine humaine réchauffe la planète. Les cycles des courants océaniques Atlantic Multidecadal Oscillation, El Nino et Pacific Decadal Oscillation influencent le climat à l'échelle décennale. L'influence climatique du soleil est décennale et séculaire. Les fluctuations climatiques ont de multiples causes naturelles imprévisibles.

Le GIEC affirme que la température augmente linéairement avec les émissions anthropiques de CO₂, sans donner de justification physique. De 1878 à 1970, la production anthropique de CO₂ a augmenté avec la révolution industrielle, mais pas la température. Pour le GIEC, les effets radiatifs du CO₂, qui devraient être instantanés, réchauffent l'atmosphère sur de longues périodes de 100 ans.

Comment le CO₂ influence-t-il le climat ?

L'effet de serre

Le rayonnement solaire est peu absorbé par notre atmosphère à l'exception des nuages et de l'ozone qui absorbe les UV Ultra-Violets. Il est absorbé par le sol qu'il chauffe. Notre planète étant presque à l'équilibre thermique, l'énergie reçue du soleil est réémise vers l'espace. Cette émission se fait par des rayonnements des couches supérieures de l'atmosphère vers l'espace.

Dans la troposphère, couche basse de l'atmosphère, les échanges thermiques se font principalement par convection et condensation de l'eau, le rayonnement ayant une part faible. D'ailleurs, l'aéronautique utilise une atmosphère standard calculée par une simple détente adiabatique (sans échange de chaleur), la température baissant de 10°C tous les 1000 m en air sec et de 6,5 °C/1000 m en air humide. Cette atmosphère standard est indépendante des transferts radiatifs et de la concentration en CO₂.

Le sol étant beaucoup plus froid que le soleil, il émet principalement dans l'Infra Rouge, IR. Certains gaz, surtout la vapeur d'eau, mais aussi le CO₂ et les autres gaz à effet de serre O₃, CH₄, N₂O... ont des raies d'absorption dans l'IR, qui leur sont spécifiques. Leurs molécules absorbent ces photons spécifiques et s'excitent en vibrant avant de réémettre ce photon dans n'importe quelle direction. Une part du rayonnement progresse, l'autre part étant réfléchi. Tous ces gaz absorbent une partie du rayonnement terrestre et le renvoient vers la Terre, ce qui réduit le transfert thermique vers l'espace et augmente la température terrestre. C'est l'effet de serre, mal nommé, car une serre fonctionne par blocage de la convection. L'atmosphère et l'eau adoucissent les températures et réduisent les extrêmes ; sur la lune, l'écart entre le jour et la nuit dépasse 300 °C.

La contribution des différents gaz H₂O, CO₂, O₃, CH₄, N₂O, ... à l'effet de serre est différente de leur effet marginal sur son évolution, l'absorption pouvant être saturée.

Knut Ångström et la saturation de l'absorption du CO₂

En 1896, Arrhenius, a déclaré que l'augmentation du CO₂ allait réchauffer l'atmosphère. En 1900, K. Ångström, autre suédois, fit une expérience simple : dans un tube à essai rempli d'air, il injecta du CO₂ pour représenter la colonne d'atmosphère qui se trouve au-dessus de nous. Il mesura l'absorption d'un rayon lumineux puis il fit varier la concentration en CO₂ et constata que l'absorption ne variait pas. L'absorption de la raie à 15 µm du CO₂ est totale pour une épaisseur d'air de 100 m, ce qui explique pourquoi les variations de la concentration en CO₂ ne changent rien : l'effet de serre du CO₂ est saturé. Cette saturation de l'absorption du CO₂ est passée sous silence par le GIEC qui postule que le CO₂ anthropique réchauffe l'atmosphère, sans autre justification que des modèles de calcul.

La subtilité stratosphérique du CO₂

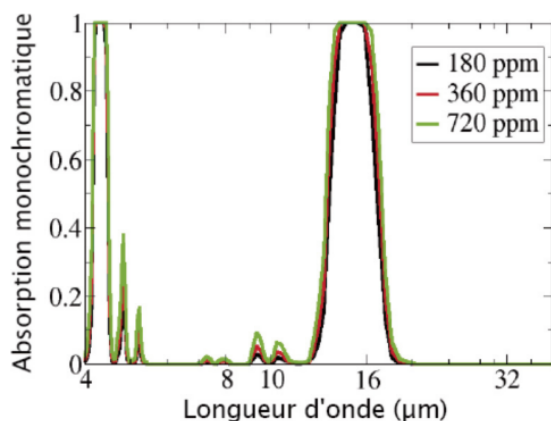


Figure 6 : Dépendance spectrale de l'absorptivité de l'atmosphère terrestre pour trois valeurs de la concentration de l'atmosphère en CO₂, si ce gaz était le seul gaz absorbant.

En France Dufresne et Treiner du Laboratoire de Météorologie Dynamique confirment que l'absorption du CO₂ dans la basse atmosphère est saturée, comme le montre la figure 6, et reportent le débat sur les couches supérieures de l'atmosphère. Suivant leur « subtile » théorie, le réchauffement proviendrait de la haute altitude, là où la concentration en CO₂ est suffisamment faible pour laisser passer les photons IR à 15 µm émis vers l'espace. Cette zone d'émission serait située entre 3 et 8 km d'altitude. Lorsque la concentration de CO₂ croît, la zone d'émission s'élève et la température baisse, ce qui réduit l'émission. Le retour à l'équilibre nécessite le réchauffement des couches inférieures.

Toutefois, le gradient de température s'inverse à la tropopause, vers 10 km d'altitude, à cause de l'absorption des UV par l'ozone dans la stratosphère (fig4).

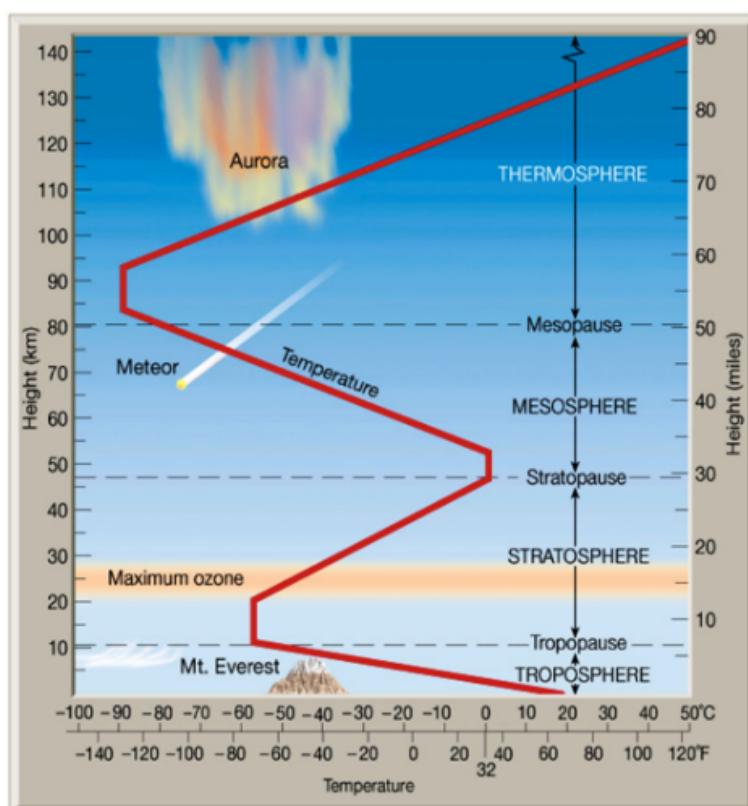


Figure 4 : Températures des couches atmosphériques

Donc, dans la stratosphère, l'augmentation du CO_2 refroidirait le climat. Or le pic d'émission est à 50 km d'altitude, dans les couches supérieures de la stratosphère (figure 5) :

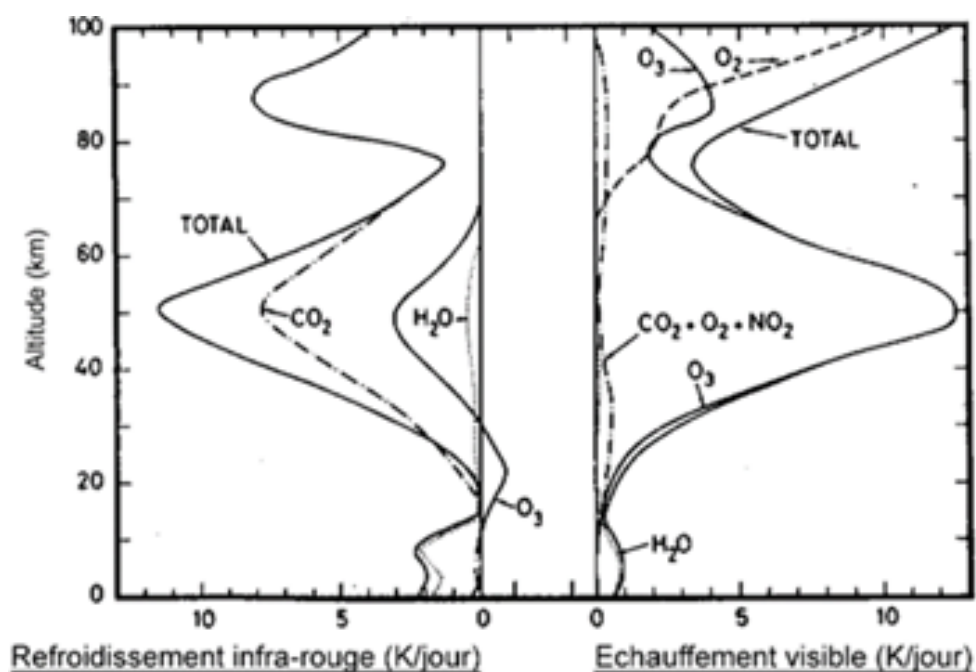


Figure 5 : Refroidissement IR

D'ailleurs, Dufresne et Steiner indiquent bien que, dans la stratosphère, l'augmentation du CO₂ diminue l'effet de serre, donc la température. Ces contradictions sur l'altitude de la zone d'émission invalident cette théorie « subtile ». Mais « des considérations plus complètes, à l'aide de modèles, montrent que la stratosphère a un comportement neutre lorsque le CO₂ varie. » Seuls les modèles climatiques complexes décriraient le réchauffement de la planète par le CO₂.

Les modèles de l'atmosphère et des océans

Les modèles météorologiques

Les modèles météorologiques résolvent les équations de la physique en ayant recours à quelques simplifications, malgré la puissance des ordinateurs. Sur plusieurs jours, les erreurs s'amplifient parce que les imperfections du modèle s'ajoutent à celles des conditions initiales et des discrétisations numériques ; la fiabilité des prévisions baisse progressivement. Les meilleures prévisions météorologiques sont généralement limitées à 1 semaine.

Les modèles climatiques

Les climatologues du GIEC, considérant qu'il faut au moins 30 ans pour valider une tendance climatique, modélisent des durées de 100 ans, ce qui nécessite de multiples approximations ajustables et un maillage grossier (100 km*100 km) pour ne pas dépasser 2 mois de calculs. Il faut « régler » chaque modèle en ajustant des dizaines de paramètres pour éviter que les températures calculées ne soient trop éloignées des observations. Ces ajustements permettent aussi de choisir les résultats, ce qui crée un doute. Comme les résultats des modèles divergent, le GIEC a créé le Coupled Model Intercomparison Project pour les comparer. 29 modèles et 267 simulations ont essayé de retrouver les variations des températures depuis 1880. L'amplitude des divergences augmente entre le CMIP3 et le CMIP5 (en français : Projet d'Inter comparaison des Modèles Couplés atmosphère-océan) alors que les modèles sont plus sophistiqués. Les modèles échouent à décrire le réchauffement climatique de 1910 à 1940 qu'ils sous-estiment d'un facteur 2. Cette incapacité des modèles à reproduire le passé érode la confiance que l'on peut accorder à leurs prévisions.

Conclusion

Les météorologues élaborent des prévisions pour la semaine prochaine et les climatologues pour le siècle à venir. A court terme, la météorologie est chaotique. Les cycles des courants océaniques influencent le climat sur des décennies et ceux du soleil sur des siècles. Sur des périodes de centaines de milliers d'années, les cycles de l'orbite terrestre ont provoqué des glaciations et des réchauffements climatiques. Les variations du CO₂ furent une conséquence de celles des températures.

De 1880 à 1970, la température moyenne n'a pas beaucoup varié. Depuis 1970, elle a augmenté de 1°C.

Ångström (1900) a montré la saturation de l'absorption du CO₂. Le GIEC affirme que le réchauffement est proportionnel à l'émission de CO₂ anthropique, sans justification scientifique. Le GIEC se base sur 29 modèles atmosphériques et océaniques approximatifs et ajustables. Les réglages indispensables orientent les résultats qui sont néanmoins divergents. L'incapacité de ces modèles à représenter le climat du passé autorise à douter de leurs prévisions.

Le doute sur l'effet du CO₂ sur le climat ne remet pas en cause la nécessité d'économiser les combustibles fossiles et de développer de nouvelles sources d'énergie. Les pays en développement ont besoin de plus d'énergie, surtout si leur population continue à croître.

Guy Maurin