

Le CO₂, une histoire au long cours chamboulée par les sociétés industrielles

February 28, 2019 8.04pm GMT



L'exploitation des énergies fossiles émet du CO₂, première cause du réchauffement climatique. Zbynek Burival/Unsplash

Authors



Guillaume Paris

Chargé de Recherche CNRS au CRPG, Université de Lorraine



Pierre-Henri Blard

Chargé de recherches CNRS - CRPG Nancy et Laboratoire de glaciologie, ULB Bruxelles, Université de Lorraine

Contributor



Etienne Deloule

Directeur de Recherche CNRS, CRPG, Institut National des Sciences de l'Univers, Université de Lorraine

L'influence du CO₂ sur le climat occupe une place de premier plan dans l'actualité. En étudiant des échelles de temps allant jusqu'à plusieurs milliards d'années, les géosciences nous renseignent sur les variations naturelles de la teneur atmosphérique en CO₂ et sur son influence sur le climat au cours de la longue histoire de notre planète.

Cette approche ne remet évidemment pas en cause le rôle de nos sociétés industrielles dans le réchauffement climatique actuel. Au contraire, cette mise en perspective souligne la rapidité des changements en cours.

Pour comprendre la machine climatique, il faut commencer par le principal flux d'énergie apporté à la surface de la Terre, celui fourni par le Soleil. Il apporte en moyenne annuelle une énergie de 342 W/m². C'est l'équivalent, sur chaque mètre carré, de la puissance consommée par un sèche-cheveux. Cette quantité d'énergie est reçue sous forme d'énergie lumineuse. Elle dépend de l'intensité de l'activité solaire et de la distance entre l'étoile et notre planète. La surface de la Terre absorbe 70 % de cette énergie solaire et en réfléchit les 30 % restants. Cette réflexion s'appelle l'albédo.

Les gaz à effet de serre, pièges à infrarouges

Si seuls l'énergie reçue du Soleil et l'albédo contrôlaient la température moyenne, celle-ci serait de -15 °C à la surface de la Terre, l'eau serait gelée et la vie certainement impossible. Mais l'énergie solaire absorbée est elle-même en partie réémise, sous forme de rayonnements infrarouges. Contrairement aux longueurs d'onde visibles, les infrarouges interagissent avec les gaz à effet de serre (GES) contenus dans l'atmosphère. À leur tour, les GES renvoient alors de la chaleur vers la surface de la Terre.

Read more: Comprendre l'effet de serre et ses conséquences

Plus la concentration d'un GES est élevée, plus l'effet de serre associé et la chaleur engendrée augmentent. Aujourd'hui, Les principaux GES sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane et les oxydes d'azote. Ils limitent la déperdition d'énergie vers l'espace et contribuent ainsi à maintenir la température moyenne de la Terre à +15 °C.

Le CO₂ contribue à l'effet de serre total actuel à hauteur de 20 à 30 %, contre 60 à 70 % pour la vapeur d'eau. Pourquoi le CO₂ joue-t-il un rôle plus important dans le réchauffement climatique que la vapeur d'eau ? D'abord, la durée de vie de la vapeur d'eau dans l'atmosphère est très courte, de l'ordre de quelques heures à quelques jours. Ensuite, sa concentration est directement contrôlée par la température ambiante. La vapeur d'eau joue donc un rôle d'amplificateur dans les changements (plus il fait chaud, plus la concentration en vapeur d'eau est élevée, plus la température augmente) mais elle ne peut pas en être le moteur.

La température augmente avec la quantité de CO₂ dans l'atmosphère

En revanche, le temps de résidence du CO₂ dans l'atmosphère est de l'ordre de 100 ans et sa concentration ne dépend pas uniquement de la température atmosphérique. Le CO₂ peut donc jouer un rôle moteur dans les variations du climat (tout comme, par exemple, le méthane). Toutes choses égales par ailleurs, plus la concentration en CO₂ atmosphérique est élevée, plus l'effet de serre est important et plus il fait chaud.

Dès lors, il est important de savoir ce qui contrôle la concentration atmosphérique en CO₂. À l'échelle des temps géologiques (supérieure à 100 000 ans), la principale source de CO₂ est constituée par les volcans, qui émettent en moyenne 0,4 milliard de tonnes de CO₂ par an (0,4 GtCO₂/an).



Éruption du volcan Bromo, sur l'île de Java (2011). À l'échelle des temps géologiques, les volcans jouent un rôle dans le cycle du CO₂. Marc Szeplat/Unsplash

Pourquoi ne s'est-il pas simplement accumulé dans l'atmosphère sur des milliards d'années en rendant la Terre de plus en plus chaude ?

Ce paradoxe s'explique par la présence de flux naturels qui retirent le carbone de l'atmosphère pour le stocker dans les roches sédimentaires, jouant ainsi le rôle de « thermostat » géologique. On appelle ces ensembles flux – réservoirs « puits de CO₂ » ou « puits de carbone ».

L'océan est souvent considéré comme un puits de carbone car il a la capacité d'absorber une partie du CO₂ émis vers l'atmosphère. Il contient 50 fois plus de carbone que celle-ci. Mais le CO₂ dissout dans l'océan n'est pas soustrait à l'atmosphère sur le long terme. Sur les échelles de temps géologiques qui nous intéressent ici, le seul moyen de faire baisser la teneur en CO₂ du système océan-atmosphère est de le stocker dans les sédiments sous une autre forme, moins réactive.

Une partie du CO₂ capté par deux puits géologiques de carbone

Le premier puits géologique du CO₂ est la séquestration de la matière organique dans les sédiments.

Les organismes vivants sont constitués de carbone organique essentiellement fabriqué à partir du CO₂ de l'atmosphère via la photosynthèse, réalisée notamment par les algues ou les végétaux terrestres.

Une partie de cette matière organique sédimente au fond de l'océan.

De gigantesques masses de carbone organique, d'origine marine ou continentale, se sont ainsi accumulées dans les sédiments au cours des temps géologiques. Ce type de carbone constitue, entre autres, la source des énergies fossiles, à savoir charbon, gaz et pétrole.

Le deuxième puits géologique de CO₂ est assuré par l'altération des silicates (par exemple, les basaltes ou granites) à la surface des continents. Cette transformation chimique, sous l'action du CO₂ ambiant, rend les eaux de surface plus acides. Des argiles se forment et certains éléments sont lessivés puis exportés par les rivières jusqu'aux océans où ils sont utilisés par divers organismes marins, comme les foraminifères, les coccolithophoridés et les coraux pour fabriquer leurs parties dures, en carbonate de calcium. Ces carbonates peuvent aussi se former par précipitation chimique directe, sans intervention de la biosphère.

Une partie de ces carbonates sédimente au fond de l'océan et y forme les roches calcaires. Le couplage « altération des silicates-sédimentation des carbonates » soustrait ainsi du CO₂ de l'atmosphère.

La quantité totale de carbone stocké dans les sédiments représente environ 2 000 fois plus de carbone que l'océan et l'atmosphère réunis.

Les variations des puits et sources géologiques de carbone depuis la plus tendre enfance de notre planète ont fait que la teneur en CO₂ atmosphérique a constamment évolué, contrôlée par ce cycle du carbone impliquant le volcanisme, l'altération, la biosphère et les sédiments. En retour, ces variations ont, elles, influé sur le climat.

Flash-back

Le travail des géoscientifiques nous permet aujourd'hui de présenter l'évolution du CO₂ atmosphérique depuis la formation de la Terre il y a plus de 4,4 milliards d'années.

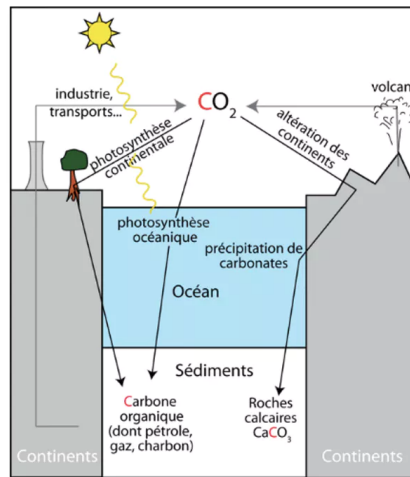
Il est très probable que l'atmosphère primitive issue de l'accrétion de la Terre était très riche en CO₂ (sans doute jusqu'à 10 000 fois plus qu'actuellement) tandis que l'oxygène (O₂) était présent à l'état de traces infimes.

Plus tard, à l'Archéen (entre -3,8 et -2,5 milliards d'années), période où la vie s'installe, l'altération des premiers continents et le développement de la photosynthèse entraînent une captation de CO₂ et une libération d'O₂. Se déroule alors, voilà à peu près 2,3 milliards d'années, l'une des plus grandes crises écologiques de l'histoire de la Terre, le Grand événement d'oxygénation. La concentration en CO₂ baisse. Elle n'est alors plus que de 20 à 100 fois la teneur préindustrielle (280 ppm).

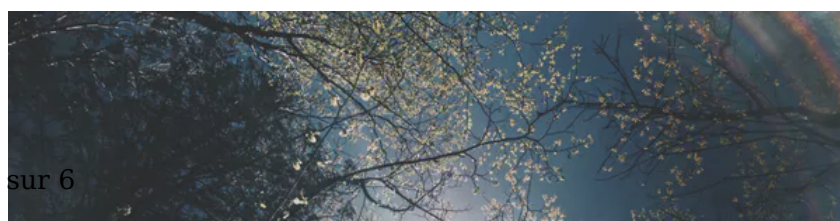
Deux milliards d'années plus tard, à la fin du Dévonien et au début du Carbonifère, il y a environ 350 millions d'années (Ma), le bilan des interactions entre puits et sources de l'époque aboutit à des teneurs en CO₂ estimées à 1 000 ppm. Le climat est généralement chaud et humide. Des libellules de 70 cm d'envergure se promènent alors dans une végétation luxuriante.

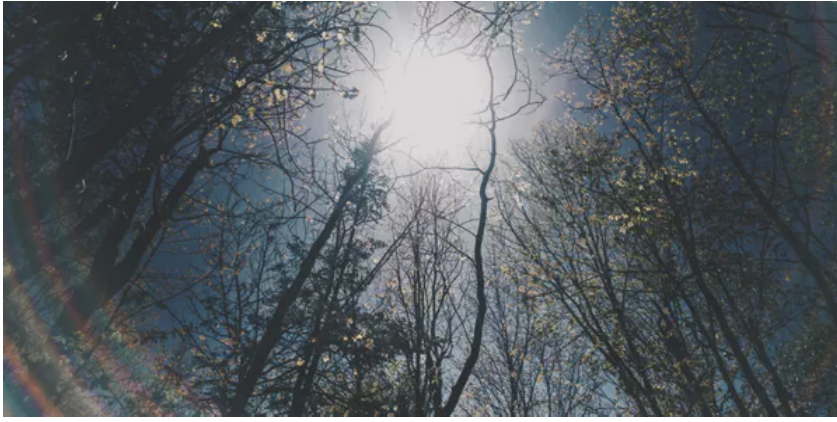
De nouveaux rebondissements

Les végétaux supérieurs apparus au Dévonien synthétisent de la lignine, une molécule générant rigidité et résistance à l'eau. Leur photosynthèse s'avère beaucoup plus efficace et leur activité biologique favorise l'altération. De plus, le carbone organique accumulé dans la lignine le rend bien plus résistant aux dégradations microbiennes.



Cycle géologique simplifié du carbone. Les puits (noir) figurent la sédimentation de matière organique et le couplage altération-synthèse de carbonate. Ils s'opposent aux sources (gris) : les volcans depuis plus de 4 milliards d'années et les activités humaines thermo-industrielles depuis 150 ans. G. Paris, Author provided





La photosynthèse soustrait du CO₂ de l'atmosphère, participant aux grands cycles de CO₂ sur la planète.
Patrick Tomasso/Unsplash

Pendant plusieurs dizaines de millions d'années, des stocks majeurs de charbons se forment ainsi via la fossilisation de ces arbres. En parallèle, l'altération de la chaîne de montagne Hercynienne (dont on trouve les vestiges, entre autres, dans le Massif central ou le Massif de Bohême) contribue aussi à faire chuter la teneur en CO₂ de l'atmosphère.

En conséquence, la température moyenne de la Terre baisse à nouveau à la fin du Carbonifère, entraînant ainsi une période glaciaire importante, datée entre -320 et -280 Ma.

Avec la dislocation de la Pangée, le dernier super-continent sur Terre, les teneurs en CO₂ remontent peu à peu et, à la fin du Jurassique (-200 à -145 Ma), celles-ci sont deux à six fois plus élevées qu'aujourd'hui, entre 500 et 2 000 ppm. Les dinosaures dominent alors les chaînes alimentaires et nos lointains ancêtres ressemblent à des rongeurs.

Suite à la disparition brutale des dinosaures, et des ammonites, voilà 66 millions d'années, les mammifères se diversifient peu à peu. Depuis 55 millions d'années, les températures globales diminuent sous l'effet d'une baisse naturelle et progressive de la teneur en CO₂. Cette baisse est liée au piégeage du CO₂ dans les roches sédimentaires au fil du temps, sur des dizaines de millions d'années, notamment suite à la surrection de l'Himalaya qui favorise tant le couple altération-précipitation de carbonates que l'enfouissement de carbone organique.

L'évolution suit son cours et les hominidés apparaissent voilà un peu moins de sept millions d'années.

Un relatif équilibre trouvé il y 2,6 Ma

Depuis 2,6 millions d'années, le climat de la Terre a rencontré un certain équilibre, alternant périodes glaciaires et interglaciaires selon un rythme régulier, dont une dizaine au cours du dernier million d'années. Sur ces échelles de temps plus courtes (10 000 à 100 000 ans), les variations d'insolation liées aux variations orbitales de la Terre sont le déclencheur des changements climatiques.

L'océan, le cycle à court terme du CO₂ et les glaciers jouent un rôle fondamental dans l'amplification climatique de ces variations orbitales. C'est dans ce contexte qu'*Homo sapiens* apparaît en Afrique entre -250 000 et -150 000 ans.

Depuis 11 500 ans, la Terre est dans une période dite « interglaciaire » avec une teneur en CO₂ autour de 280 ppm et des températures moyennes relativement stables. C'est alors qu'entrent en scène les humains, qui depuis 10 000 ans, utilisent les énergies fossiles, d'abord pour se chauffer, s'éclairer, et enfin se mouvoir, de manière de plus en plus efficace et à une échelle de plus en plus grande.

Cette combustion d'énergies fossiles relibère du CO₂ vers l'atmosphère. Le puits géologique de carbone organique devient source de CO₂ et chamboule les flux naturels.

Et les sociétés industrielles vinrent tout dérégler...

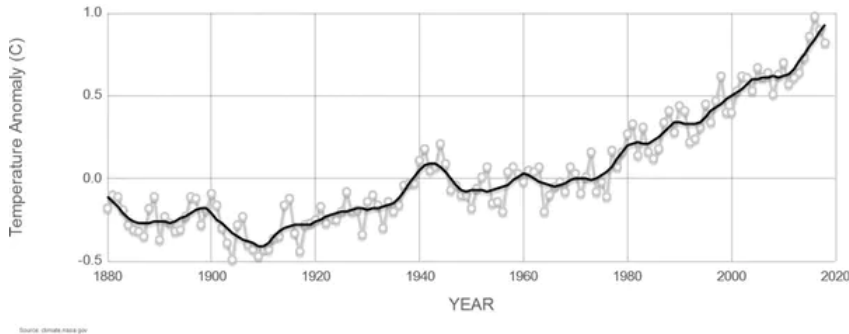
4 Un tournant radical s'effectue après 1850 avec la révolution industrielle, l'invention et l'essor de la machine à vapeur puis du moteur à explosion.



Avant l'intervention des humains, le taux de CO₂ dans l'atmosphère variait sur des périodes allant de plusieurs milliers à plusieurs dizaines de millions d'années. CC BY-NC-ND

À peine 100 ans plus tard, dès les années 1950, l'ajout de CO₂ dans l'atmosphère par la combustion des énergies fossiles est clairement identifié par la signature isotopique du carbone des molécules de CO₂ (effet dit « Suess »).

Dès la fin des années 1970, les climatologues observent que le climat dérive rapidement vers des températures plus élevées sous l'action du CO₂ anthropique.



Évolution de l'anomalie de température moyenne entre 1880 et 2018. Période de référence par rapport à laquelle l'anomalie est définie : 1951-1980. Les points gris indiquent la valeur moyenne par an et la courbe noire est un lissage des données. Goddard Institute for Space Studies

Pour établir des diagnostics et des scénarios fiables sur les climats futurs, le Groupement d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) est créé en 1988. Ses travaux montrent que la température moyenne a augmenté de 0,9 °C de 1901 à 2012, principalement sous l'effet de l'ajout de CO₂ et autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère par les activités industrielles, les transports et la consommation d'énergie (climatisation, chauffage).

Read more: Le GIEC, une boussole scientifique pour le climat

L'amplitude de cette hausse peut paraître insignifiante par rapport aux 5 à 10 °C des transitions glaciaires-interglaciaires, mais ce réchauffement s'avère au moins 10 fois plus rapide que la dernière déglaciation lors de laquelle la température moyenne a augmenté de 5,5 °C en 7 000 ans.

La cause, clairement identifiée, est la hausse anthropique de GES. Les facteurs naturels de variabilité climatique (activité solaire et volcanisme) sont insuffisants pour expliquer ce réchauffement rapide. Rappelons que ces émissions de CO₂ ne sont pas réparties de façon homogène entre les humains. Les pays à haut revenu sont en effet ceux qui émettent le plus de CO₂ par habitant.

L'avenir sérieusement compromis des sociétés humaines et des écosystèmes actuels

En ayant brûlé depuis 150 ans un bon quart des réserves d'énergies fossiles, les sociétés industrielles ont – à l'échelle des temps géologiques – brusquement inversé un des puits de carbone qui avait contribué à réguler la teneur atmosphérique en CO₂ sur des millions d'années. Le flux supplémentaire est de 28 GtCO₂/an, soit 50 fois plus que celui émis par les volcans. Les puits géologiques ne sont pas assez efficaces pour compenser ce flux supplémentaire et ce CO₂ s'accumule dans l'océan et dans l'atmosphère.


Les conséquences, on le sait, sont multiples : hausse de la température moyenne, hausse du niveau marin, recul des glaciers, événements météorologiques extrêmes, acidification des océans, dévastation des écosystèmes, entre autres.

Cependant, la Terre a connu d'autres bouleversements, et même si la vitesse de ce réchauffement dépasse la capacité d'adaptation et d'évolution de beaucoup d'espèces, la Vie s'en remettra. Ce qui est en jeu, ce n'est pas la planète. Ce qui est en jeu c'est la capacité des sociétés humaines à y vivre en paix et la préservation des écosystèmes actuels.

Ce sont des enjeux de première importance.

Si les sciences de la Terre ne peuvent apporter de solutions pour penser les modifications nécessaires de nos comportements et de nos consommations d'énergies fossiles, elles peuvent et doivent en revanche contribuer à la connaissance et à la prise de conscience collective sur le réchauffement

climatique en cours.

 [climat](#) [GIEC](#) [énergies fossiles](#) [environnement](#) [changement climatique](#) [sciences de la terre](#) [émissions de CO2](#) 

Facts matter. Your donation helps deliver fact-based journalism.

[Make a donation](#)