

Sources et puits de carbone - Régulation climatique

Modélisation avec Edu'Modèles

Objectifs: Proposer à partir des documents suivants, un modèle analogique de l'évolution de la température en fonction du taux de CO₂

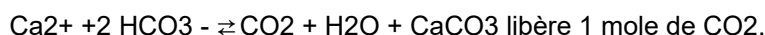
Vous confronterez votre modèle analytique avec la réalité et vous validerez ou pas vos hypothèses (le modèle doit être éprouvé !).

Document 1: Quantification de l'absorption de CO₂ par les massifs montagneux

l'altération de l'anorthite composant minéral de roches de la croûte continentale, silicate calcique s'écrit :



On observe donc la consommation de deux moles de CO₂ par altération d'une mole d'anorthite. Lorsque HCO₃⁻ arrive en mer, la précipitation de calcite CaCO₃ selon la réaction:



Donc finalement l'altération d'une mole d'anorthite a pompé une mole de CO₂ dans l'atmosphère.

Quand on altère un silicate calcique par de l'eau chargée de CO₂, le bilan (vis à vis du Ca et du CO₂) est toujours le même : chaque CaO contenu dans le silicate s'associe avec un CO₂ pour donner un CaCO₃. L'altération totale d'un certain volume de roche contenant 1 mole de CaO (56 g) dans ses silicates calciques consommera 1 mole de CO₂ (44 g) pour donner 1 mole de CaCO₃ (100 g). La masse de CO₂ consommé correspond donc à $44/56 = 78\%$ de la masse du CaO altéré.

Sources: <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/himalaya-pompe-co2.xml>

Considérons l'altération - érosion d'un ensemble des surfaces rocheuses terrestres

Massifs montagneux	surfaces en Km ²
Himalaya	595000
Cordillère des Andes	3371000
Alpes	298128
Karakoram	77154
Rocheuses	991691
Sierra Nevada (US)	102494
Sierra Nevada (Espagne)	2000
Appalaches	1909000
Oural	2225000
Atlas	775400
rocheuses canadienne	194000
Total	10540847 ~ 10 600 000

NB: Il faut considérer que l'altération, sur des échelles de temps plus courtes, ne concerne que la surface des massifs montagneux peu ou non couverts par de la végétation (estimation par les flux sédimentaires: 0,07 mm/an).

On a donc altéré-érodé: $10600000 \text{ km}^2 \times 0,07 \text{ mm/an} = 742.10^6 \text{ m}^3$

La densité des roches usuelles étant approximativement de 3.000 kg/m^3 , la masse altéré correspond à 2226.10^9 kg . La croûte continentale normale contient 5,5% de CaO, dont 2% dans les silicates (plagioclases, amphiboles ...) et le reste dans des calcaires : **La masse de CaO venant de silicates altérés est donc de : $2226.109 \text{ kg} \times 0,02 = 44,52.109 \text{ kg}$. Son altération théorique a donc consommé $44,52.109 \times 0,78 = 34,7 .109 \text{ kg}$ de CO₂ soit 34,7 Gt .**

L'Himalaya, et toutes les autres zones de forte altération continentale, correspondent bien à une colossale pompe à CO₂ atmosphérique. **Dans la réalité, l'altération des silicates n'a certainement pas été totale ; les fleuves ne charrient pas** à la mer que de l'argile (résultat de l'altération totale de silicates), mais aussi sables et galets qui contiennent encore des silicates calciques non altérés. Mais même si seulement 10%

des silicates sont altérés (et les 90 autres % transportés intacts vers les zones de sédimentation), cela correspond quand même à une **absorption de 3,47 Gt. L'atmosphère actuelle de la Terre** contient 750 Gt (10^9 t) de C, soit **2750 Gt de CO₂**.

Document 2: Volcans, des émissions de CO₂ inférieures à celle de l'Homme

2

Les scientifiques évaluent ces émissions autour de 100 à **500 millions de tonnes de CO₂** par an. Une fourchette plutôt large parce qu'elle repose sur l'estimation d'une trentaine seulement des quelque 1.500 volcans qui sont entrés en éruption au cours des 10.000 dernières années. Et parce que de récents travaux - menés sur le volcan Katla (Islande), un volcan recouvert par la glace - semblent montrer que ces émissions pourraient être, en réalité, d'environ 10 % plus importantes.

Ceci étant posé, ces quantités de CO₂ restent assez largement inférieures à celles émises par les activités humaines. En 2017, celles-ci ont presque atteint le seuil des 37 milliards de tonnes. Et les scientifiques jugent que les émissions volcaniques de CO₂ sont donc en moyenne 130 fois plus faibles que les émissions d'origine anthropiques.

Finalement, si les éruptions volcaniques peuvent avoir une influence globale sur le climat, c'est, en l'état actuel des connaissances, plus du côté des particules soufrées qu'il faut chercher. Car elles peuvent former un écran empêchant les rayons du Soleil d'atteindre le sol. L'effet est donc plus refroidissant que réchauffant.

Source: <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/gaz-effet-serre-volcans-emettent-ils-plus-co2-homme-1382/>

Document 3: Quels sont les principaux puits de carbone ? Où sont-ils et comment fonctionnent-ils ?

Un puits de carbone est un réservoir qui stocke, par un mécanisme naturel ou artificiel, le carbone atmosphérique. Les principaux puits de carbone sont les océans et certains milieux continentaux comme les forêts en formation, les tourbières, etc.

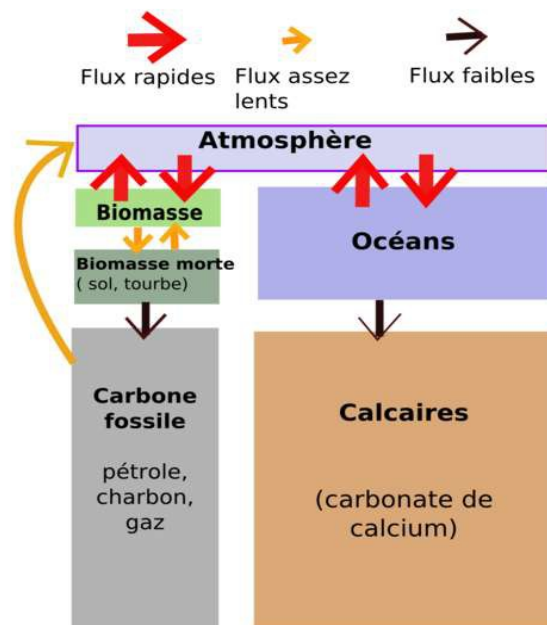


Schéma simplifié du cycle du carbone montrant les flux entre les stocks biologiques et géologiques de carbone. © Maxime Lev, Wikipédia, CC by-sa 3.0

Fonctionnement d'un puits de CO₂

Le principal mécanisme de séquestration du CO₂ atmosphérique est la photosynthèse. Cette voie métabolique utilise l'énergie solaire pour fixer le CO₂ sous forme de matière organique. La biomasse organique constitue donc un stock de carbone.

Toute réduction de cette biomasse (déforestation) réduit ce stock et rejette dans l'atmosphère le CO₂ piégé, tandis que toute croissance de ce stock entraîne une réduction de la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Une partie de cette matière organique échappe à la décomposition (qui relâche le CO₂ dans l'atmosphère) et forme, très lentement, des roches sédimentaires (calcaires, hydrocarbures). Sous cette forme, le carbone est piégé hors de l'atmosphère pour des durées de temps géologiques.

Les océans, les plus importants puits de carbone

Globalement, les océans et les continents absorbent une quantité nette de carbone de 3,2 milliards de tonnes par an. Cela représente 50 % des émissions anthropiques.

Les océans sont les plus importants puits de carbone. Dans les mers, les mécanismes biologiques (photosynthèse, calcification) et physico-chimiques (dissolution et précipitation) séquestrent ainsi 2,2 milliards de tonnes de carbone par an.

Sur les continents, ce sont un milliard de tonnes de carbone qui sont extraites de l'atmosphère et piégées dans la végétation et les sols.

Développer les puits de carbone naturels et artificiels

Depuis quelques années, les chercheurs et les ingénieurs cherchent à accroître ces puits par des projets de capture et de séquestration du carbone. Deux pistes sont explorées :

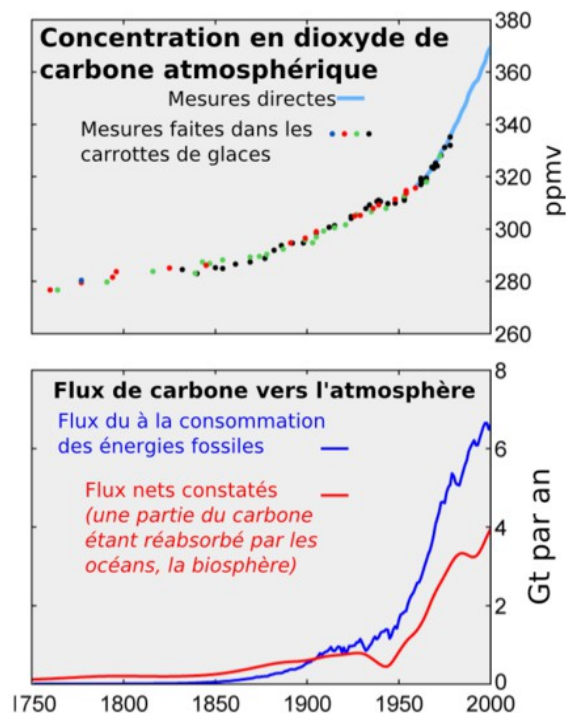
- l'amélioration des mécanismes naturels, à travers la géoingénierie ;
- la capture artificielle du carbone et son piégeage dans des formations géologiques profondes, des dômes de sels, d'anciens puits de pétrole ou dans les océans.

Ces techniques sont encore expérimentales, mais la dernière comporte moins d'incertitudes que la géoingénierie. Les projets de capture artificielle et de stockage du CO₂ font donc l'objet de recherches accrues dans le cadre de la lutte contre le changement climatique.

<https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/rechauffement-climatique-puits-carbone-sont-ils-fonctionnent-ils-1212/>

Document 4: Émission anthropique de dioxyde de carbone:

La production anthropique annuelle de CO₂ atteignait 25 Gt en 2000 et **37,1 Gt en 2018**



Les transports sont une source importante de CO₂ les émissions directes de CO₂ en France dues aux transports proviennent à 52 % des automobiles, à 25,2 % des poids lourds, à 2,7 % des avions et à 0,5 % des trains. Selon un rapport de février 2019 du *think tank* français Institute for Climate Economics (I4CE), la demande alimentaire mondiale génère de 22 % à 37 % des rejets de gaz à effet de serre (24 % pour la France), tous secteurs confondus, la largeur de la fourchette s'expliquant par la prise en compte ou non de l'impact de la déforestation. Le secteur de l'élevage génère 63 % des rejets de l'alimentation alors qu'il ne fournit que 16 % des calories consommées dans le monde. Pour ses auteurs, « les deux tiers des émissions de gaz à effet de serre liées à la consommation de nourriture sont rejetées avant la sortie du produit de la ferme. La transformation et le transport comptent pour 20 % et la phase finale, du magasin à l'assiette, pour 13 % ».

source: https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89mission_de_dioxyde_de_carbone

Document 5: La forêt , puits et source de carbone

Des quantités considérables de carbone ont été libérées en raison de la déforestation opérée depuis des siècles aux latitudes moyennes et élevées, et dans la dernière partie du XXe siècle dans les régions tropicales. Il est donc vital de continuer à stocker le carbone et d'empêcher sa libération dans l'atmosphère si l'on veut lutter efficacement contre le réchauffement climatique.

En 2005, les forêts couvraient 30% de la surface terrestre et renfermaient plus de la moitié du carbone accumulé par les écosystèmes terrestres, soit plus de mille milliards de tonnes de carbone. Toutes les forêts sont des réservoirs de carbone : elles retiennent le carbone à la fois dans la biomasse vivante et morte, dans les matières organiques en décomposition et dans les sols.

Ce sont les processus de photosynthèse, de respiration, de transpiration, de décomposition et de combustion qui entretiennent la circulation naturelle du carbone entre la forêt et l'atmosphère. Ce mode de fonctionnement dynamique des écosystèmes forestiers leur permet de recycler le carbone. Ils jouent donc un rôle important dans le cycle mondial du carbone : lorsque le stock de carbone augmente, le flux net de l'atmosphère vers l'écosystème forestier est positif et on parle alors de puits de carbone ; dans l'autre sens, on parle de source de carbone.

Sur la période 2001-2014, les **émissions mondiales provenant de la déforestation ont diminué de 3,9 à 2,9 gigatonnes (Gt) de dioxyde de carbone (CO₂) par an**. Toutefois, malgré la réduction mondiale des émissions de carbone des forêts du fait du recul de la déforestation, les émissions provenant de la dégradation des forêts ont considérablement augmenté entre 1990 et 2015, passant de 0,4 à 1,0 Gt de CO₂ par an. La dégradation des forêts est une réduction de la densité de la biomasse des arbres due à des causes naturelles ou à l'action de l'homme comme l'exploitation forestière, les feux de forêt, les chablis et d'autres événements, indique la FAO.

L'absorption de carbone par les forêts contribue à contrebalancer, mais pas entièrement, les émissions mondiales en raison de la conversion des forêts à d'autres types d'utilisation des terres. Les forêts absorbent et stockent deux milliards supplémentaires de tonnes de CO₂ par an (2011-2015), à l'exclusion des émissions provenant de la déforestation.

La moitié du puits de carbone forestier est liée à la croissance des forêts plantées. Ainsi, les forêts d'Europe et d'Amérique du Nord ont fonctionné comme des puits nets de carbone entre 1990 et 2014, car elles absorbaient plus de carbone qu'elles n'en rejettent. Cependant, l'effet du reboisement sur le stockage du carbone reste limité et ne permettra pas de compenser nos émissions de gaz à effet de serre.

Les pays développés continuent de représenter la majeure partie du puits de carbone mondial, avec une part de 60 pour cent (2011-2015). Cette part a toutefois reculé puisqu'elle était de 65 pour cent en 2001-2010, régression due principalement à la diminution de la création de nouvelles forêts plantées. Les pays en développement représentent quant à eux les 40 % restants du puits de carbone mondial.

Enfin, les experts du GIEC s'accordent sur un diagnostic inquiétant des impacts à venir du réchauffement climatique : à partir de + 2°C, les écosystèmes terrestres risquent de relâcher plus de gaz à effet de serre dans l'atmosphère qu'ils n'en stockeront. A ce titre, la forêt amazonienne présente déjà des signes de fatigue.

source: <https://www.notre-planete.info/environnement/deforestation.php>

Document 6: Correlation entre CO₂ et Température : c'est plus compliqué qu'on le croit !

[Cédric Ringenbach](#)

On dit que le CO₂ est un gaz à effet de serre et que l'augmentation de sa concentration dans l'atmosphère serait la cause du réchauffement climatique. Dans son film, "une vérité qui dérange" Al Gore nous présente deux courbes : celle du CO₂ et celle de la température. Comme il le fait remarquer à juste titre : "Elles s'emboitent", juste avant de préciser que les corrélations entre les deux courbes sont plus compliquées de cela...

C'est en effet un peu plus compliqué que ça...

Les données de température et de CO₂ sont téléchargeables sur le site du National Climatic Data Center.

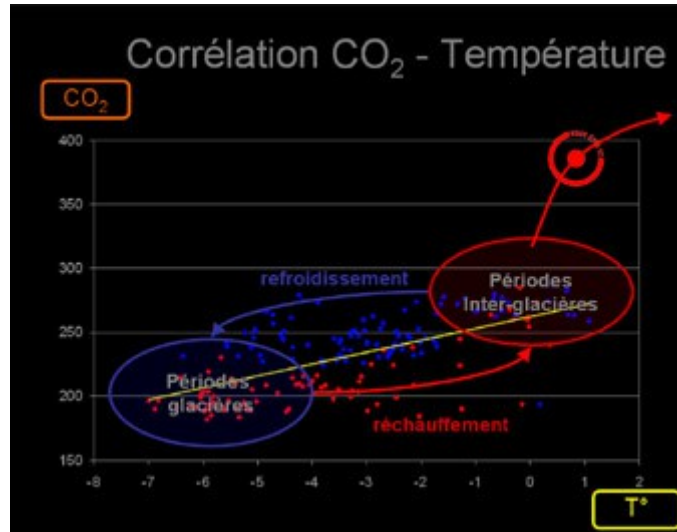
On observe une corrélation et cela confirme que les deux courbes "s'emboitent".

On a ici une belle illustration de ce qui s'est passé depuis au moins 650.000 ans : le climat oscille entre périodes glacières (en bas à gauche) et périodes inter-glacières (en haut à droite).

en bleu les points qui correspondent à des périodes de refroidissement et en rouge, ceux qui correspondent à des périodes de réchauffement. Voici le résultat :

les points bleus sont plutôt au dessus de la courbe et les points rouges sont au dessous. C'est bien la preuve que pendant les périodes de réchauffement, c'est d'abord la température qui a augmenté, puis le CO2 et réciproquement pendant les périodes de refroidissement :

où sommes-nous aujourd'hui sur ce graphe ? Eh bien, nous sommes ici :



C'est à dire que nous sommes complètement en dehors du nuage de points, non pas d'un point de vue de la température (il a déjà fait plus chaud), mais en termes de CO2. Et quelle trajectoire suivons-nous ? Celle représentée par la flèche rouge, c'est à dire une courbe qui va dans le sens des aiguilles d'une montre, alors que nous tournions dans le sens trigonométrique depuis 650.000 ans.

Que faut-il en déduire ?

D'abord que ce qui se passe actuellement est de nature différente de ce qui se passait lors des périodes de glaciations-déglaciations. C'est bien ce qu'on dit quand on attribue le changements actuel à l'homme alors qu'on ne le fait pas sur les temps géologiques.

D'autre part qu'il n'y a aucune contradiction entre le fait de dire que le CO2 joue sur la température et le fait que la température joue sur le CO2. Les deux phénomènes sont connus, chacun a sa constante de temps : le CO2 joue sur la température avec une inertie de 50 ans, alors que la température joue sur le CO2 avec un retard de 1000 ans (800 ans d'après les spécialistes).

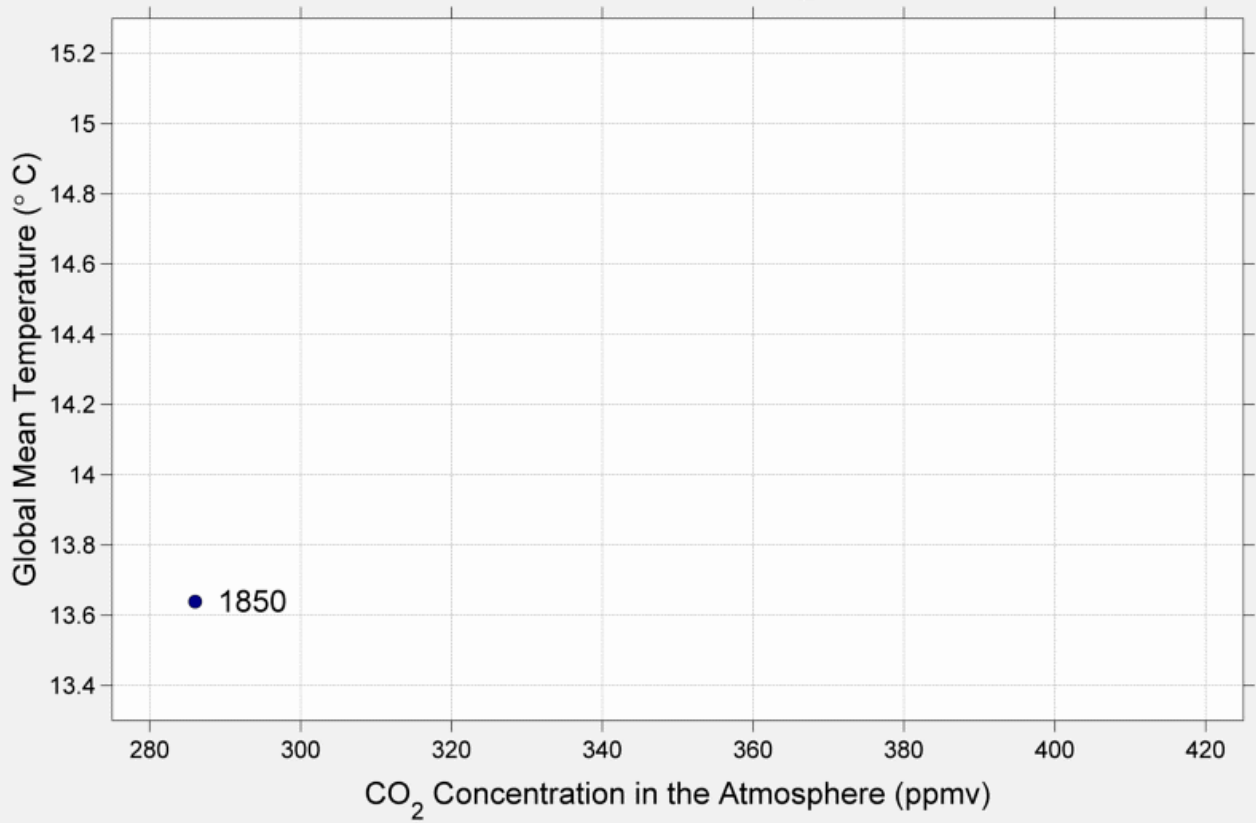
Dire que le GIEC est mal à l'aise avec l'avance de phase de la température sur les temps géologique est une imposture: Dans son dernier rapport d'évaluation, on peut lire que les causes des glaciations et déglaciations sont bien d'origine astronomiques et non anthropiques, et que le CO2 a été une rétroaction positive qui a amplifié la réponse, au même titre que la taille de la calotte glaciaires et son impact sur l'albedo.

Document 7: How does temperature depend on CO2?

by [Clive Best](#)

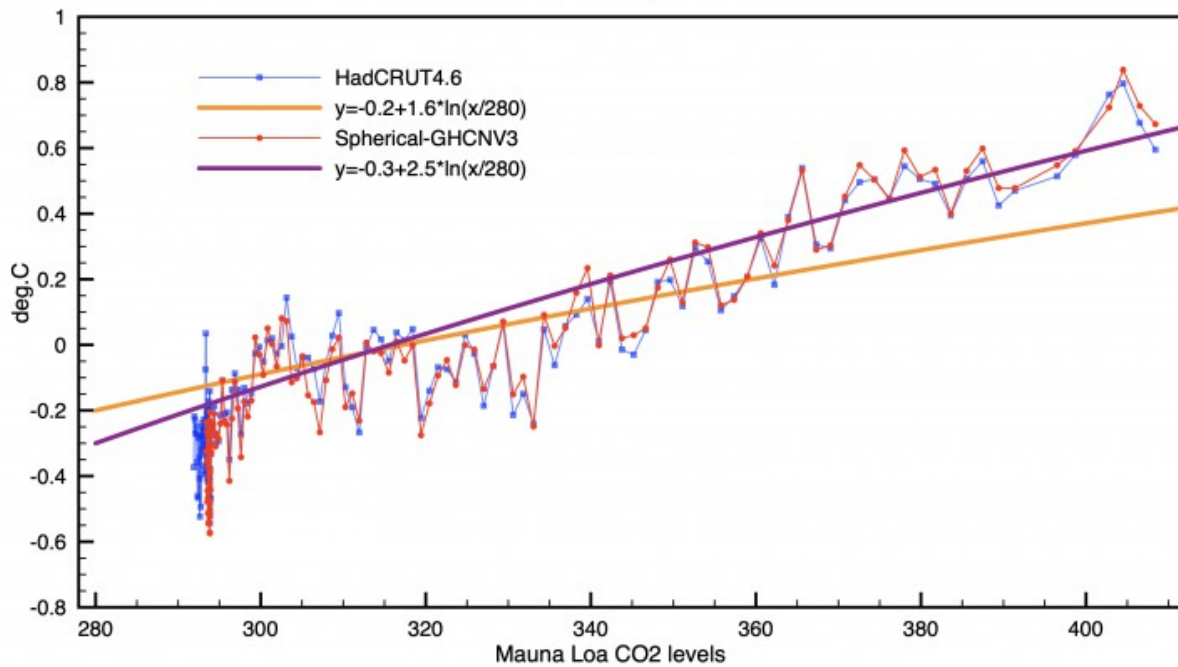
Robert Rohde has produced a very nice animation of global temperatures as a function of CO2 levels in the atmosphere. Of course it is designed for public relations purposes in order to show increasing CO2 causes warming. He even uses absolute temperatures which are not even directly measured. Here is my version of how temperature anomalies depend on CO2.

Temperature Change vs. CO₂ Concentration



source: http://berkeleyearth.lbl.gov/downloads/TemperatureVsCO2_Animation.gif

Global Land Temperature dependency on CO₂ Concentrations



Source : <http://clivebest.com/blog/?p=8837>

Exemple de résultat:



Emissions, puits de CO2 et température

