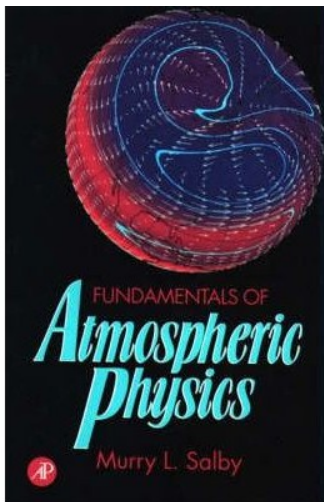


Murry Salby est auteur des livres

1) ([ici](#)) :



Fundamentals of Atmospheric Physics: Volume 61

★★★★☆ 3.25 (4 ratings by Goodreads)

Hardback | International Geophysics | English

By (author) Murry L. Salby, Series edited by Roger A. Pielke, Series edited by Renata Dmowska

Share    

Fundamentals of Atmospheric Physics emphasizes the interrelationships of physical and dynamical meteorology. The text unifies four major subject areas: atmospheric thermodynamics, hydrostatic equilibrium and stability, atmospheric radiation and clouds, and atmospheric dynamics. These fundamental areas serve as cornerstones of modern atmospheric research on environmental issues like global change and ozone depletion. Physical concepts underlying these subject areas are developed from first principles, providing a self-contained text for students and scholars from diverse backgrounds.

The presentation is Lagrangian (single-body problems) in perspective, with a balance of theory and application. Each chapter includes detailed and extensive problems; selected answers are provided, as are appendices of various constants. The text requires a thorough foundation in calculus.

Product details

Format: Hardback | 627 pages

Dimensions: 152 x 229 x 36.07mm | 1,160g

Publication date: 27 May 1996

Publisher: Elsevier Science Publishing Co Inc

Imprint: Academic Press Inc

Publication City/Country: San Diego, United States

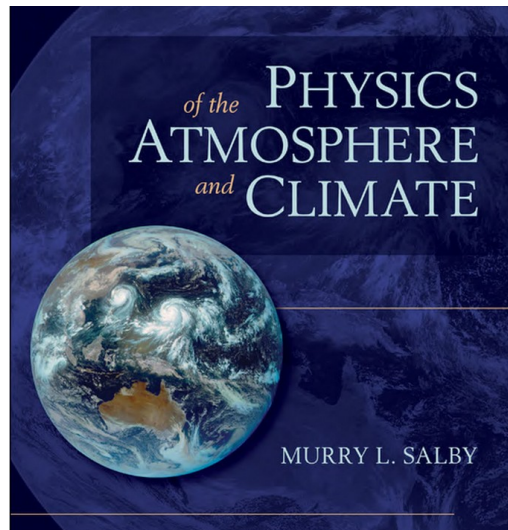
Language: English

ISBN10: 0126151601

ISBN13: 9780126151602

Bestsellers rank: 2,269,236

et 2) ([ici](#) ou [là](#)) :



Cambridge University Press, 2012 (plusieurs éditions en 2012), ~ 700p., dans lequel Prof. Salby écrit au sein de la préface (p. XV) :

« La montée populaire de la recherche climatique n'a pas été sans critique. Les plus notables concernent la rigueur et l'analyse critique, et cela avec i) les proxis des climats précédents sur lesquels s'appuient les interprétations du climat actuel sont souvent isolés et ambigus, ii) les intuitions/perceptions des mécanismes physiques sous-jacents ont été détrônés par les modèles qui, bien que de plus en plus compliqués, restent, en bien des aspects, primitifs et pauvrement compris. »

Murry Salby a été chercheur au US National Center for Atmospheric Research de la Princeton University. Puis il a été professeur à the University of Colorado à Boulder, où il avait la fonction de Directeur du Center for Atmospheric Theory and Analysis. Puis en 2008 il a pris la chaire de Climate Science à la Macquarie University, Sydney, Australie. Il a une centaine de publications dans les revues internationales.

Il a commencé à mettre en doute le « consensus » par un exposé à Sidney en 2011 (puis 2012), suite à un an de réflexion sur ses nouveaux résultats des données officielles. Le présent exposé de 2013 à l'Université H.S. de Hambourg est fort connu dans l'arène climatique.

Le professeur allemand Hermann Harde rappellera plus tard (lors de l'exposé 2018, [là](#)) ce qu'il en a coûté au Prof. Salby : Il terminait un cycle de conférences en Europe pour présenter ses nouveaux résultats qui contestaient les vues du GIEC : à Vienne, Paris, Cambridge, Londres, Oslo, Hambourg, Westminster (parlement anglais), Edimbourg (parlement écossais) quand des directeurs de son Université ont annulé son billet de retour pour l'accuser ensuite de manquement à son temps d'enseignement, puis lui ont dit qu'ils changeaient sa fonction pour quelque chose autre que le climat.

C'est à peu près la même chose que chez nous avec le météorologue-climatologue Marcel Leroux (CNRS mais auquel on a coupé tous les fonds lorsqu'il a critiqué le dogme du GIEC).

Murry Salby est décédé en 2022.

Vidéo de l' exposé (anglais) du Prof. Murry Salby à l'Université Helmut Schmidt (militaire) de Hambourg le 18 avril 2013, un an et demi après la sortie de son deuxième gros ouvrage, *Physics of the atmosphere and Climate* :

http://nature.anegeo.org/meteo/Docsmeteo/Pr_M_Salby_Hambourg_14-avril-2013.html

Il y a 30 secondes de présentation en allemand, puis c'est en anglais

Ci-dessous, après une synthèse que l'on propose, suit **la traduction** littérale **de l' exposé**

Sa diction est remarquable, ce qui ne peut pas être rendu par écrit.

• **Deux remarques importantes d'abord** sur l'originalité de son analyse :

1) la « référence » absolue du taux de CO₂ de l'atmosphère étiqueté du terme « pré-industriel », le 280 ppm du GIEC, est parfaitement incertaine, au mieux...

Murry Salby ne met pas en cause les courbes de composition gaz de bulles/glace, ni la "température globale". Les données qu'il utilise sont celles officielles. Il met le doigt sur le fait que leur interprétation officielle a écarté la possibilité de tout échange dans la glace, ne soit-ce que par diffusion au sens large (et décompression forage, mesures, etc.). Sa modélisation mathématique en solutions fermées (i.e. des formules mathématiques, solutions contrôlées, par opposition aux modélisations numériques dont l'aboutissant n'est pas contrôlable en soi), indique, en comparant les résultats de ses modèles aux données réelles, que à l'inverse du supposé officiel la diffusion de matière dans la glace a lieu.

2) Il attaque le problème du CO₂ (en ppm) par l'angle de ses variations.

Comme écrit O.G. Sutton in "Mathematics in action" : « *Quand on forme une dérivée on trouve une expression pour le taux de changement d'une fonction donnée. (...) ...les "lois" de l'univers physique sont, en général, naturellement exprimées en termes de taux de changement...* ».

Les lois de Newton qui ont la simplicité, la généralité, la beauté de la géométrie grecque sont des dérivées ou des dérivées secondes. Elles ne parlent que du changement d'un mouvement.

"Les équations différentielles sont d'importance fondamentale en mathématique d'ingénierie parce que beaucoup de lois et relations physiques apparaissent mathématiquement sous la forme de telles équations." (Kreyszig, "Advanced engineering mathematics").

Ces variations sont grandes et reliées à des événements indépendants des humains (éruption volcanique, el nino...). Il en tire la relation entre les émissions de CO₂ et la température surtout, qui ensuite permet de remonter aussi loin qu'il y a des données de températures.

Intégrer (faire la somme de) ces variations donne une courbe CO₂ qui est pratiquement celle observée, alors que les modèles climatiques dont se sert le GIEC qui attribuent tous aux activités humaines s'en écartent, démontrant a minima que tout ne peut pas venir de ces activités humaines.

Une synthèse de l'exposé

- Les analyses des bulles des carottes de glace et la glace montrent une relation forte CO₂-méthane-température avec les cycles glaciaires. C'est la référence de base des interprétations actuelles. C'est un "proxi" = un outil substitut pour l'étude d'atmosphères qui ne sont plus.
- Cette relation forte existe dans ce proxi, sur 400 000 ans, y compris en dehors des grosses ondulations glaciaires (en les filtrant), à plus petite échelle → elle est universelle. Ces données peuvent être analysées mathématiquement (statistiquement) par la corrélation croisée, qui est de 0,8, fonction du décalage. Car le changement de CO₂ est postérieur, de moins de 1000 ans, au changement de température et cela presque en phase. Un autre diagramme sur ces données avec la fréquence, l'inverse du temps, en abscisse indique la même chose et une forte cohérence CO₂-Température pour les échelles de temps plus longues que 10 000 ans.
- L'atmosphère actuel lui est connu en temps réel. Ce n'est pas un proxi. Puisque le raisonnement est sur le CO₂ (forçément global), ce doit être le cas aussi pour la température. La corrélation croisée entre les deux pour les années 1959-2012 est de 0,5 pour un décalage de 10 mois, le changement de CO₂ suivant celui de température.

▪ Construction d'un modèle mathématique : i) la variation du taux de CO₂ suit le changement de température, ii) une fois dans l'atmosphère le CO₂ est conservé, iii) sur la surface de la Terre, là, il est émis ou absorbé.

Plutôt qu'au taux de CO₂ où on en est à un moment donné (r), c'est sa variation qui l'intéresse (dr/dt). Elle est un bilan net (émission – absorption), qui est en lien avec la température, avec l'anomalie de température du moment. Les données de l'atmosphère actuel utilisées vont de 1965 à 2007. La variation est grande d'année en année, et la corrélation entre ces variations de CO₂ et de température est nette, et calculée de 0,63.

Mathématiquement la valeur du rapport de mélange (non plus sa variation) est donnée par l'intégrale, i.e. la somme, des variations.

Ces fortes variations étant liées en phase (quand l'une fait quelque chose, l'autre suit), il le présente mathématiquement sous la forme trigonométrique et, pour généraliser, par la technique de Fourier (i.e. pouvant traiter des ondulations de n'importe quelles formes). Il montre sur un diagramme fréquence des variations [si le CO₂ suit la variation de T°, au bout d'un jour, ou d'une semaine ou au bout d'un mois, etc.] vs cohérence (au carré), avec les mesures réelles, que ce qu'il modélise est consistant avec l'observation. Cela pour l'atmosphère actuel donc. Et pour ça la cohérence est bonne dès lors que l'échelle de temps est supérieure à une paire d'année.

▪ Retour au proxi glace. Il reprend la variation du taux (dr/dt), fonction de la température dans une équation de conservation. Là il distingue le rapport initial de mélange, r_A de l'atmosphère disparu, et le rapport r_I qui sera vu après diverses pertes, irréversibles, qui peuvent se produire ensuite de la glace, ce qu'il pose mathématiquement par un coefficient linéaire donc proportionnel à la concentration (α , échelle de temps). Manipulations techniques établissant un modèle mathématique qui a des solutions (solutions dite fermées par opposition à calculs numériques dont le résultat est sans auto-contrôle) qui peuvent donner la cohérence de la relation entre les deux variables, et la phase (i.e. les caractéristiques utilisées plus avant obtenues à partir des mesures). La solution prend deux formes limitantes, une pour l'échelle de temps long, et une pour l'échelle de temps court (cette dernière qui revient à la limite à l'atmosphère actuel). Son modèle produit un résultat théorique terriblement ressemblant au diagramme équivalent établi à partir des mesures réelles, cela : i) dans le cas de temps longs (avec des pertes du CO₂ dans la glace), et ii) dans le cas de temps court (sans perte, CO₂ et T° qui restent fortement liés). Le modèle est donc crédibilisé et, étant une solution fermée, indique sans ambiguïté la phénoménologie en œuvre.

▪ Ce qui distingue le proxi et l'actuel, ce sont les pertes d'un niveau étudié, ce qu'il appelle le *non conservatif*. Elles sont liées à la variable temps auquel l'enfoncement progressif est également lié. Il l'écrit mathématiquement et arrive à une équation de forme semblable à la précédente, mais avec un coefficient différent. Il indique que cela donne un spectre de valeurs CO₂ dans la glace (parce qu'il n'y a pas que une fréquence [= échelle de temps inverse des variations] mais plusieurs), qu'il met en fraction avec le cas de non pertes, cela afin d'analyser la relation entre ces deux situations. Il arrive à son but, une formule de l'impact des pertes. Ce qu'on lit alors est que pour les temps courts (= hautes fréquences) ce rapport tend évidemment vers 1, mais cela change vite avec le temps. En effet la variation du rapport est quadratique (= à la puissance 2). « *cela veut dire que le changement dans l'atmosphère, est bien plus grand que le changement apparent dans la glace.* ». A l'échelle de la dizaine de milliers d'années la division est par 2, à celle de la centaine de

milliers d'année elle est de l'ordre d'un facteur 10. C'est à dire qu'une variation observée du proxy de 100 ppmv correspond à un changement dans l'atmosphère qui a existé alors de 1000 ppmv : « *On peut donc difficilement dire que les changements observés dans le 20^{ème} siècle sont sans précédents.* ».

- Dans le petit modèle mathématique, jusque là l'influence des pertes agit avec une même influence quelque soit l'échelle des variations parce qu'elle avait été introduite par un coefficient linéaire. Mais dans la glace, elle peut varier avec l'échelle verticale d'une anomalie. La diffusion symbolise cela : elle est plus rapide à partir d'une fine couche avec une forte anomalie qu'à partir d'une large couche avec un gradient peu prononcé. Il introduit donc la diffusion (rappel : 2^{ème} loi de Fick c'est $\frac{\partial c}{\partial t} = D_0 \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$). Sa solution mathématique est une superposition d'ondes qui descendent avec la vitesse de la glace. Elle permet de nouveau une comparaison théorique entre le proxy mesuré et l'atmosphère disparu dont il dérive. Maintenant ce sont les variations de haute fréquence/temps court (un pic de CO2 sur une brève période de temps) qui sont atténuées dans le proxy alors que celles étalées dans le temps sont peu affectées dans ce modèle. Ce à quoi aboutit l'exercice est que pour reproduire le diagramme corrélation croisée vs décalage (Lag) des mesures proxy, diagramme déjà vu plusieurs fois avant, il faut la solution mathématique qui mime la diffusion. Étant une solution fermée, sous entier contrôle du/de la modélist/eur/rice, ça donne une bonne explication des mesures du proxy. C'est une approche et une explication scientifique. Conclusion de nouveau : il est « *possible de sous-estimer de manière significative les changements atmosphériques passés.* ».

- Ensuite il aborde le « smoking gun of human emissions » : l'accroissement de CO2 parallèlement à l'appauvrissement du rapport C-13/C-12 (les combustibles fossiles sont moins riches en C-13 que l'atmosphère actuel) est la preuve que ces variations sont dues aux émissions humaines : c'est l'interprétation officielle.

L'augmentation de CO2 est très variable d'une année sur l'autre (plus de 100 %; données 1982-2007). Ces fortes variations coïncident avec des évènements naturels tels que le Pinatubo et El nino. La corrélation entre la variation d'augmentation de CO2 et la variation de température (du satellite MSU)+humidité du sol (de l'analyse NCEP), qu'il nomme *propriétés de surface*, est forte, calculée de 0,8. La même chose se produit, en relation inverse, pour le C-13 (corrélation 0,88 ; 1992-2007), et le méthane (corrélation 0,96 ; 1986-2005). C'est donc comme le « smoking gun.. », sauf que là les relations ne viennent pas des émissions humaines contredisant l'interprétation officielle.

Et c'est aussi ce qu'on voit dans le proxy de la glace du quaternaire où il n'y avait pas d'émissions humaines.

- La sensibilité de ces variations avec la température (un facteur γ , $dr/dt = \gamma T$) obtenue sur données contrôlées, permet d'en calculer à partir de données de températures plus anciennes. L'intégration de ces variations calculées produit le cumul de CO2 qui est du à ces variations naturelles, cela jusqu'à 1880 où commencent les températures. Or la courbe ainsi produite se superpose à celle des mesures de CO2, sur la période 1981 à 2007 sur la base des données satellites, puis à 1960 début mesures CO2, puis sur le proxy glace à 1880. Cela démontre que « Tout » l'accroissement de CO2 « depuis les temps pré-industriels » ne peut pas venir des activités humaines comme l'affirme le GIEC.

- Passant au budget énergétique de la Terre (en watts), il met en évidence que selon deux douzaines de modèles du GIEC, l'entièreté du budget est contrôlée par le CO2, qui pourtant lui n'est responsable que de moins de 1 % du budget d'énergie. Leurs résultats traduisent que dans ces modélisations numériques, ne peuvent pas changer indépendamment : i) l'énergie onde courte réfléchi (nuages, glace), ii) le transfert mécanique de chaleur (circulation océanique), iii) ni les 99 % du budget énergie : vapeur d'eau et nuages. Puis il constate que ce que prévoient ces modèles s'écarte de la réalité les 13 dernières années (1999-2012) : le CO2 augmente, pas la température. Sa modélisation l'explique : « *Le CO2 alors évolue, pas comme la température comme il le fait dans les modèles, mais comme l'intégrale de la température* », c'est l'intégrale qui reproduit la montée observée du CO2 à partir des variations observées de température. « *Si le CO2 suit l'intégrale de la température ce qu'il fait clairement, alors il ne peut pas suivre la température, ce qu'il ne fait visiblement pas.* ». Autrement dit la science n'est pas dite, contrairement à ce qui est dit...

Relation entre les gaz à effet de serre et la température du globe

Murry Salby, Macquarie University, Sidney, Australia,
à Hambourg, le 18 avril 2013
(transcription/traduction littérale par anegeo)



« Ceux/elles d'entre vous qui sont en dehors des sciences physiques ne seront pas familièr-e-s avec certains de ces développements, qui sont techniques. Relaxer-vous, vous saisirez les conséquences importantes, qui seront auto-évidentes.

Je suis arrivé à ce sujet par accident. Enfin d'une certaine manière. Après avoir changé de lieu pour l'Australie, je me suis trouvé en attente de financements. Finalement j'ai entrepris d'écrire un nouveau livre . Un livre ne se fait jamais aussi vite qu'on le voudrait. Parce qu'au moment de poser le crayon sur le papier, on trouve que la compréhension de problèmes clés est inadéquate. Sur le sujet du climat, une des plus visibles est de manière ironique la plus centrale.

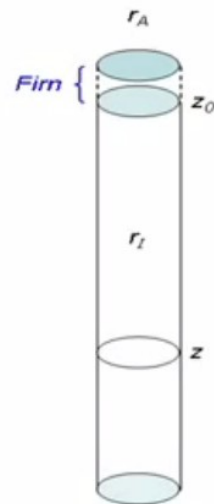
L'interprétation récente du climat tourne autour de changements de composition d'atmosphère. Elle repose sur trois fondements de base :

1. Les évidences de substituts (les proxis) de la composition passée de l'atmosphère
2. Les changements modernes, ceux que l'on observe de fait
3. Des simulations de leur impact par des modèles climatiques.

Pour les changements passés, les observations n'existent pas. On a seulement des évidences de proxies, de carottes de glace.

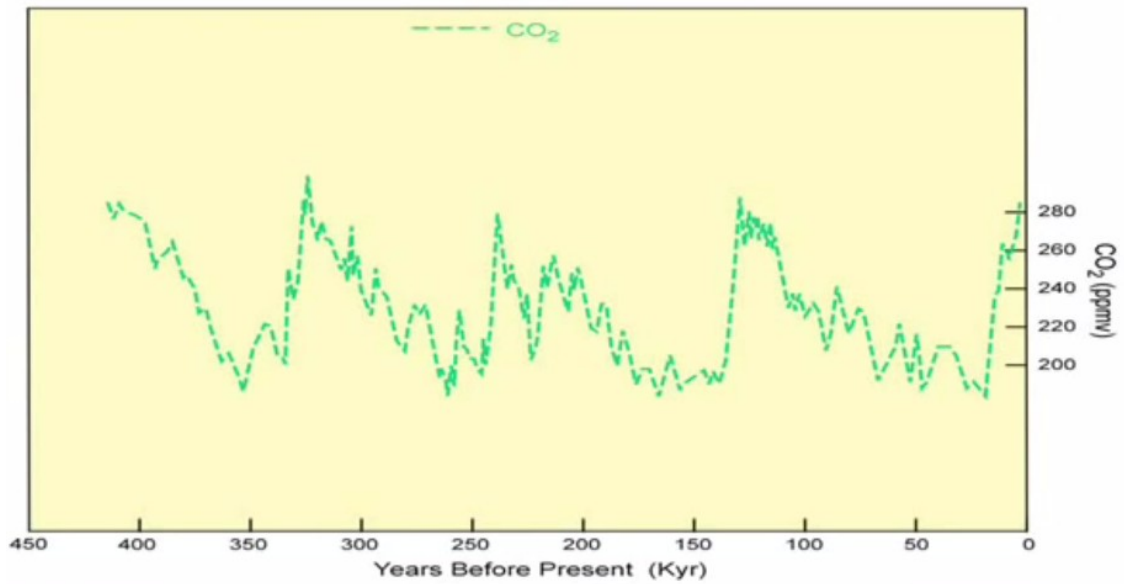
Les évidences de proxi s'appuient sur des bulles d'air qui ont été prises dans la glace alors qu'elle s'enfonc sous le poids de la colonne surincombante.

**Proxy Record
of
Atmospheric Composition:
Ice Cores**



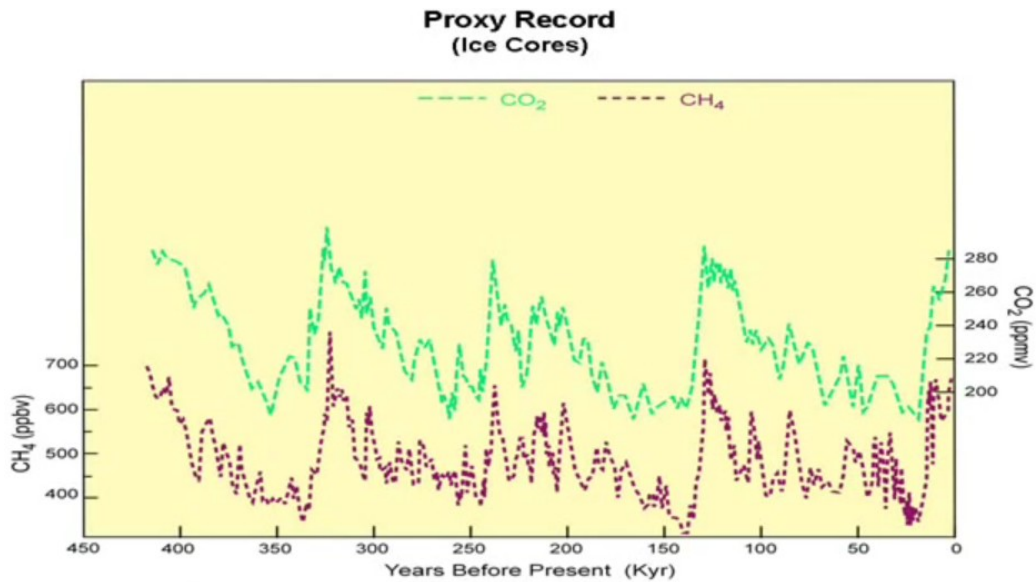
En vert, est l'enregistrement du proxy CO₂ :

**Proxy Record
(Ice Cores)**

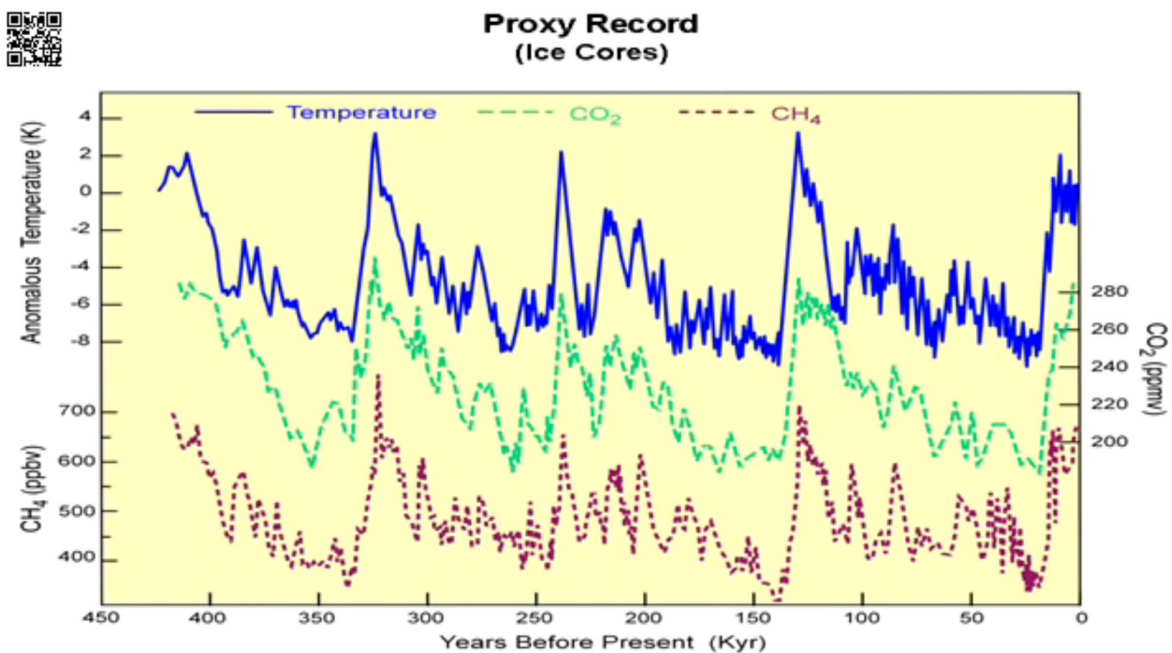


Il change par centaine de ppmv, parties par million par volume, sur l'échelle de temps de centaine de milliers d'années, avec des changements plus petits sur des échelles de temps plus courtes.

En mauve (↓) l'enregistrement du proxy méthane. Lui aussi change faisant miroir des changements du CO₂.



En bleu (↓) est le proxy de la température déduit de l'oxygène isotopique. Lui aussi change de manière similaire, faisant une balance de 8°K pendant les cycles de glaciations.



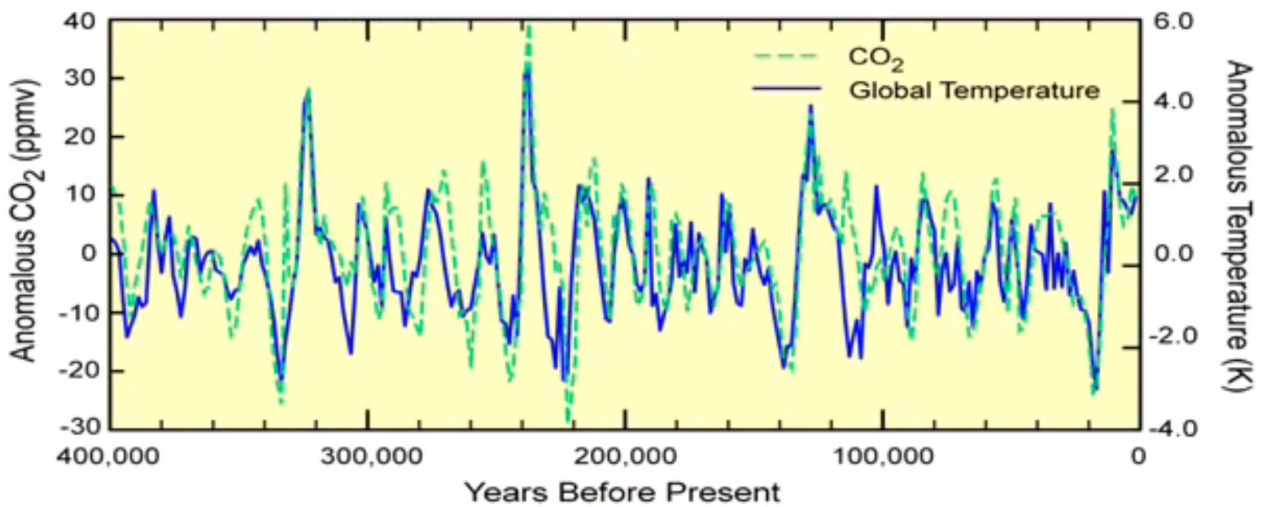
Température qui est unanimement froide pendant les périodes glaciaires, accompagnée de contenu CO₂ et méthane qui sont uniformément bas. La température qui est unanimement chaude est accompagnée par juste l'inverse.

Ces changements anciens de composition sont le pivot des interprétations modernes. Ils sont la référence sur laquelle les changements du 20^{ème} siècle, ceux qui sont effectivement observés, apparaissent sans précédent. Leur importance est reconnue par le GIEC, le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Évolution du Climat :

« L'explication mécanique de ces variations de CO₂ reste une des questions majeures non résolue de la recherche climatique »
GIEC (2007)

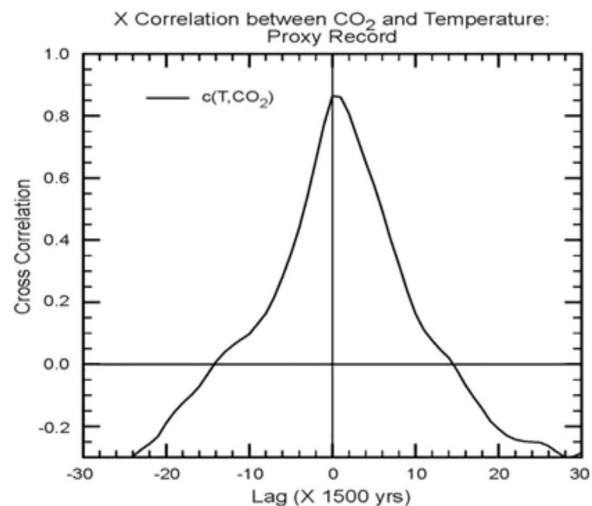
La cohérence qui est la co-dépendance des compositions atmosphérique et la température est dominée par le balancement des cycle des glaciations d'une centaine de milliers d'années. Mais cette cohérence n'est pas unique au cycle des glaciations. On retire le cycle des glaciations si on filtre l'enregistrement de CO₂ et de

température sur des périodes plus courtes que 50 000 ans :



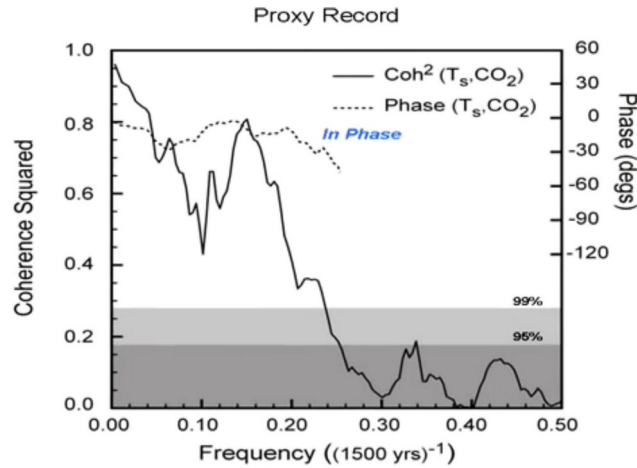
Ce qui reste est une variabilité large. Le CO₂ varie avec la température de manière cohérente sur un large intervalle d'échelles de temps. Leur cohérence dans l'enregistrement des proxies est universelle.

Ici on a tracé la corrélation croisée entre la température et le CO₂, en fonction du décalage.



La corrélation croisée mesure leur inter-dépendance. Elle dépasse 0,8. Les changements entre température et le CO₂ sont fortement inter-dépendants. Si l'un change, l'autre doit aussi changer. Presque symétrique, la corrélation croisée diminue avec l'écart de temps, plus lentement pour le retard positif ou le changement de CO₂ suit le changement de CO₂. En fait, la corrélation est maximale à un petit retard positif, moins que mille ans.

Ceci est le spectre de cohérence en fonction de la fréquence [= inverse du temps, à \times par 1500, ex. : 0,15 est pour 10 000 ans, plus vieux vers la gauche]



Il mesure l'interdépendance de la température et du CO₂ sur différentes échelles de temps. Les grisés marquent les niveaux significatifs. Tout ce qui est au dessus des gris est fortement significatif, i.e. c'est réel et il y a peu de chance que ce soit un artefact numérique de l'échantillonnage. Le CO₂ et la température évoluent de manière cohérente sur toutes les échelles de temps plus longue que 10 000 ans.

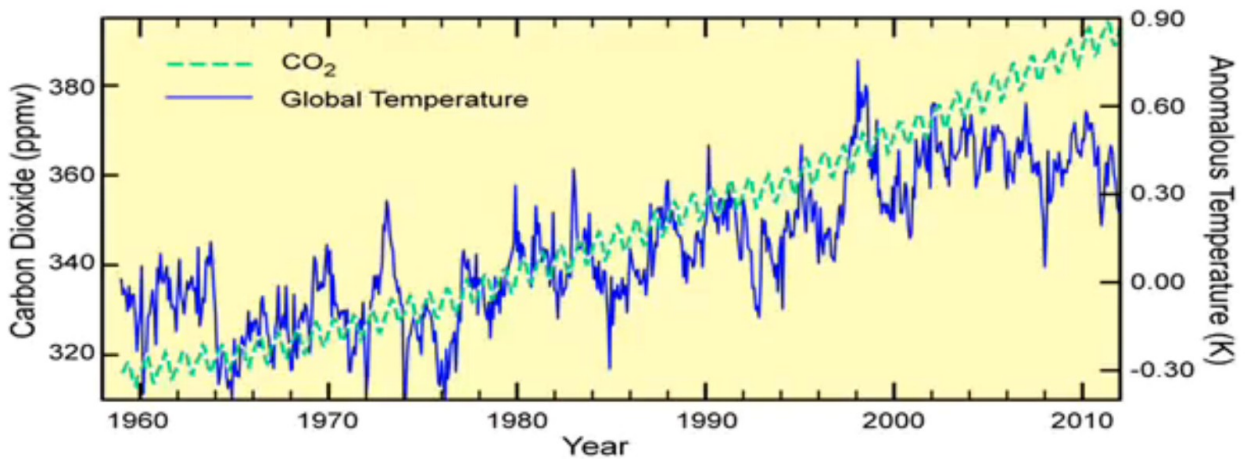
La ligne en pointillé c'est leur déphasage. Il traduit le temps relatif entre le changement de CO₂ et le changement de température. C'est près de zéro. La température et le CO₂ évoluent de manière cohérente **presque en phase**.

Ces changements réfèrent au proxy CO₂ dans la glace, pas au CO₂ atmosphérique qui est observé en faits. On a besoin de comprendre comment les deux sont liés.

Voilà l'enregistrement de ce qui est mesuré, mesures réelles de CO₂ atmosphérique et de température :

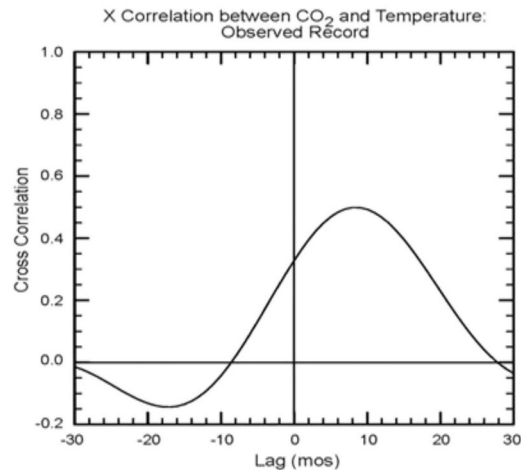


**Observed Record
(Atmospheric Measurements)**



Cela remonte un demi-siècle en arrière.

Voilà tracée leur corrélation croisée. Elle dépasse 0,5.



Le décalage est positif, c'est à dire que les changements de CO₂ suivent les changements de température. Les évolutions observées de température et CO₂ sont aussi fortement interdépendantes. Leur corrélation devient maximale vers un retard de 10 mois. Mais il est significatif sur un large intervalle de décalage positif.

Cette symétrie indique que le CO₂ qui est observé évolue de manière cohérente avec la température mais avec un décalage sur un large intervalle d'échelles de temps.

Le CO₂ est produit et détruit à la surface de la Terre. Mais dans l'atmosphère il est conservé.

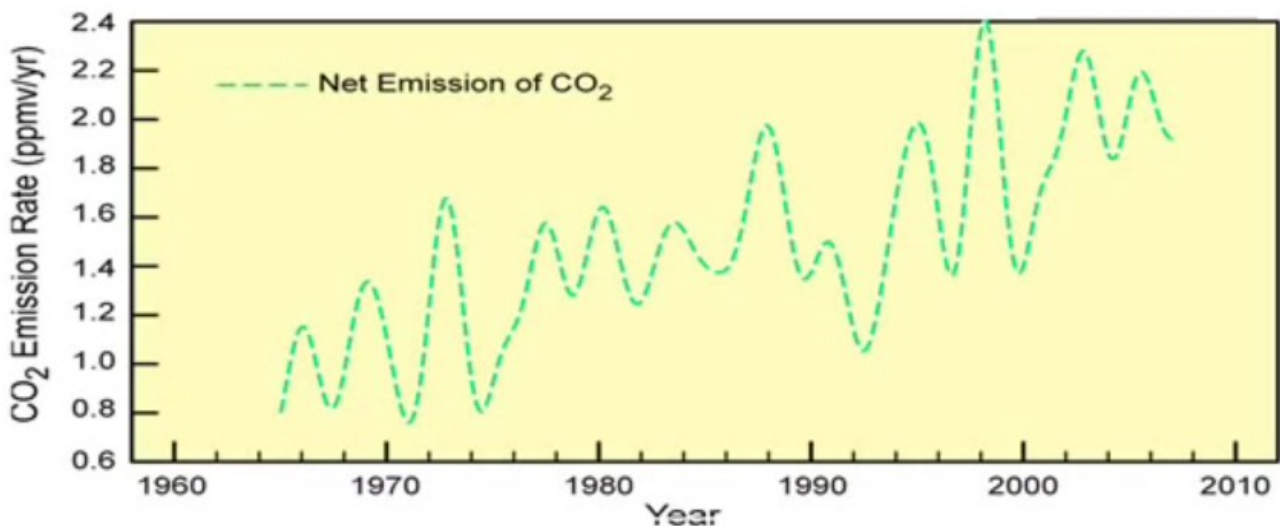
Son taux de changement en rapport de mélange CO₂ [CO₂ mixing ratio], « r », doit donc être égal à émission nette de la surface de la terre :

$$\text{enregistrement observé} : \frac{dr_{\text{CO}_2}}{dt} = \text{émission nette}$$

Le membre de gauche de cette équation, est la dérivée au temps de CO₂, le taux d'accroissement de CO₂.

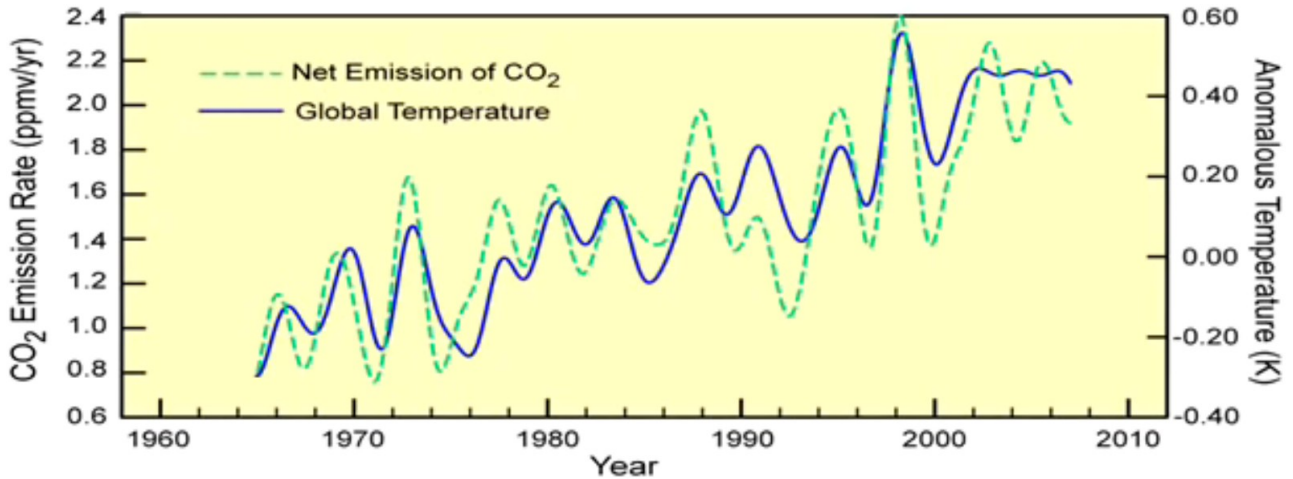
Cette équation dit que la voie par laquelle le CO₂ augmente est égal à la voie par laquelle il est émis, par tous les processus qui le produisent, à la surface de la Terre.

Voilà en vert les émissions nettes de CO₂, collectivement, de toutes les sources et évacuations, humaines, de même que les sources natives. Contrairement au émissions humaines, les émissions natives sont intrinsèquement sensibles aux conditions de surface.



Les mesures sur le terrain montrent que les émissions natives dépendent fortement de la température.

En bleu est la température moyenne de la surface de la Terre :



Le émissions nettes de CO₂ tracent l'histoire de la température de surface, avec une corrélation de 0,63. Notez que cela est vrai systématiquement pour les changements du dernier demi-siècle quand les émissions s'intensifient de 100%, de 1 ppmv/an à 2 ppmw/an.

La relation observée veut dire que l'ordre des changements, le taux de changement de l'anomalie de CO₂, son départ par rapport à sa moyenne, est proportionnel à la température anormale :

$$\frac{dr_{\text{CO}_2}}{dt} = \gamma \cdot (T_s - T_{s0})$$

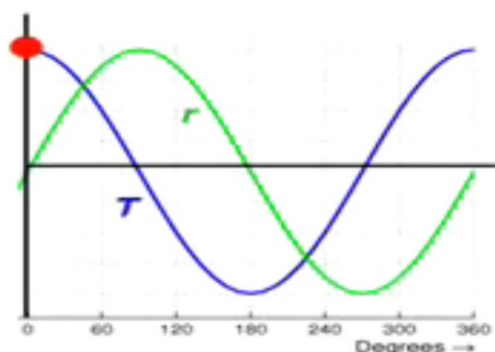
où γ est la sensibilité des émissions de CO₂ au changement de température,

CO₂ doit donc évoluer comme l'intégrale de la température :

$$r_{\text{CO}_2}(t) - r_{\text{CO}_2}(0) = \gamma \int_0^t (T_s - T_{s0}) dt'$$

L'intégrale de la température veut dire le cumul de température : température d'une année qui est proportionnelle à l'émission de CO₂ de cette année, plus la température de l'année suivante, qui est proportionnelle au CO₂ de cette année là est ainsi de suite. Ça c'est l'intégrale de la température. Et elle doit donc être proportionnelle au cumul de l'émission nette de CO₂ de toute sources et retrait, humain et natives. Les CO₂ et température observées alors évoluent de manière cohérente comme dans les enregistrements de proxies. Mais maintenant ils évoluent en quadrature :

$$T_s(t) - T_{s0} = \cos(\omega t) \quad r_{\text{CO}_2}(t) - r_{\text{CO}_2}(0) = \sin(\omega t)$$



Si la température évolue comme le cosinus du temps, CO₂ doit évoluer comme le sinus du temps, suivant la même variation mais derrière la température d'un quart de cycle.

D'une manière plus générale, on peut exprimer les évolutions de CO₂ et de la température en intégrales de Fourier, comme une synthèse de tel composantes spectrales :

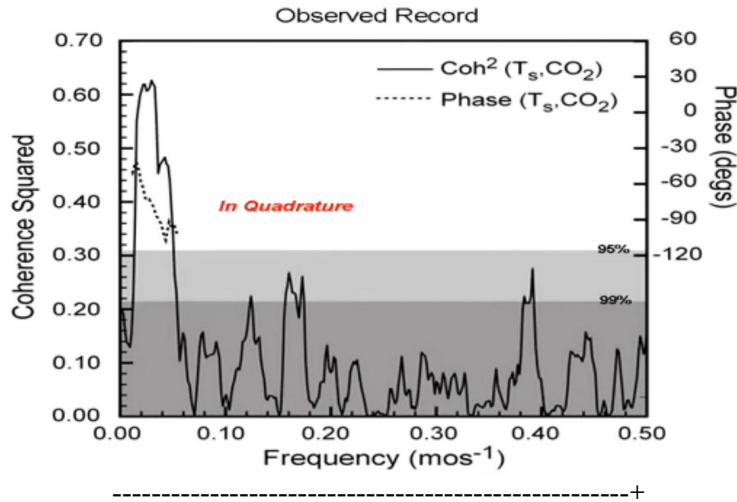
$$r_{\text{CO}_2}(t) - r_{\text{CO}_2}(0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \mathbf{R}(\omega) e^{-i\omega t} d\omega$$

$$T_s(t) - T_{s0} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \mathbf{T}(\omega) e^{-i\omega t} d\omega$$

Pour chaque fréquence ω l'amplitude complexe du rapport de mélange $R(\omega)$ suit l'amplitude complexe de température $T(\omega)$ par 90° ou un quart de cycle.

Comme les différents composantes de spectres dans ces intervalles ont des périodes différentes, aucun retard simple n'alignera simultanément tous les composantes. La covariance entre le CO2 et la température doivent donc être distribuées largement sur un retard positif ... comme on l'a observé.

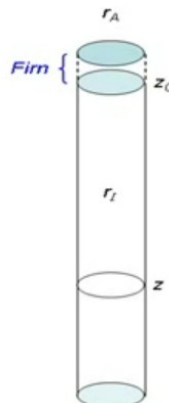
C'est le spectre de cohérence. De même, pour l'enregistrement observé :



La température et le CO2 évoluent de manière cohérente sur toutes les échelles de temps plus longues qu'une paire d'années [0,05 → 20 mois, plus vieux à gauche]. La ligne en pointillé sont les phases entre la température et CO2, c'est vers $-90^\circ \rightarrow$ dans l'enregistrement des observations ils évoluent aussi de manière cohérente, mais en quadrature. A chaque fréquence, CO2 est derrière la température d'un quart de cycle.

Le CO2 et la température évoluent de manière cohérente, et dans les enregistrements proxies et dans les enregistrement observés. Mais leur relations diffèrent fondamentalement. Pour les connecter les deux on doit regarder l'évolution du CO2, dans la glace.

Elle a deux contributions :



- 1) la composition de l'air lorsqu'il se trouve au sommet de la colonne de glace, à l'intérieur du névé poreux [firn], ou la neige est assez poreuse pour qu'on assume que c'est le rapport de mélange atmosphérique : r_A . Cela fixe le rapport de mélange initial, qui ensuite descend.

2) Les influences non conservatives ["pertes"] qui atténuent/amoindrissent la composition, lors de la descente, qui implique l'irréversibilité. Ces influences changent le rapport de mélange de sa valeur initiale imprimée dans le névé, produisant le rapport de mélange dans la glace : r_1 . Les erreurs de mesures [diff. à comprendre le mot, ?mesures d'air ?] associées à l'extraction et l'analyse de la glace, ont un impact similaire.

On considère les changements de composition sur la relation observée sur la température, mais dans un cadre général, qui prend en compte les influences non conservatives, qui modifient les observations sur une échelle de temps plus grande que pour les enregistrements observés.

Une équation de conservation qui gouverne le rapport de mélange est forcé par la source induite par la température :

$$\frac{dr}{dt} = \gamma T \quad \text{équation de conservation}$$

C'est ce qui est représenté dans la corrélation des émissions de CO₂ et de température. Vous changez la température ? → vous changez le taux d'émission du CO₂. Et donc ça apparaît dans la partie droite de l'équation qui essentiellement gouverne le taux d'émission de CO₂.

Mais l'équation de conservation est alors aussi forcée par un écoulement non conservatif :

$$\frac{dr}{dt} = \gamma T - \alpha r \quad \text{équation de conservation}$$

qui s'intensifie avec le rapport anormal de mélange, r . Inclus dans le taux d'atténuation, α , est l'échelle de temps de l'influence non conservative : si cela détruit une anomalie de CO₂ sur une année, un siècle ou un millénaire.

L'écoulement non conservatif représente un mécanisme d'extraction qui s'intensifie avec la concentration. Un tel mécanisme existe aussi dans l'atmosphère, avant que l'air soit pris dans la glace.

La dépendance sur le rapport de mélange est illustré par la biomasse :

Terrestrial Sink Dependence on r_{CO_2}



De l'accroissement de CO₂ résulte un accroissement proportionnel de la végétation, qui doit être accompagné par une extraction de CO₂. Des considération analogues s'appliquent au biotope marin qui joue un rôle semblable.

Bien, maintenant je voudrais que vous respiriez bien. Êtes vous prêt-e-s ? Allons-y.

$$\frac{dr}{dt} = \gamma T - \alpha r \quad \text{équation de conservation, échelle de temps d'atténuation}$$

Si on multiplie l'équation de conservation par la température, et en prenant l'expectation de la balance qui gouverne la covariance croisée entre CO₂ et la Température :

$$\frac{d}{d\tau} C_{\tau\tau} + \alpha C_{\tau\tau} = \gamma C_{\tau\tau} \quad \text{Covariance croisée}$$

La covariance croisée est juste leur corrélation croisée, non normalisée.

Cela est forcé par l'autre covariance de la température qui caractérise l'échelle de temps de la variation de température.

La température est représentée stochastiquement comme un processus markov de premier ordre.

Son autre covariance alors diminue exponentiellement avec un retard τ :

$$C_{TT}(\tau) = \langle T^2 \rangle e^{-\beta|\tau|}$$

Ce système peut être résolu, en forme fermée. Il donne la covariance croisée entre le CO2 et la température : le diagnostique qui a été évalué plus tôt pour les proxies et l'enregistrement observé.

La covariance croisée à son tour détermine le spectre croisé, qui est juste sa transformation de Fourier :

$$C_{\tau r}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} C_{\tau r}(\tau) e^{i\omega\tau} d\tau \quad \text{spectre croisé (Coh + Phase spectra)}$$

La cohérence et la phase sont représentées dans le spectre croisé : les autres diagnostiques évaluées des proxies et enregistrement observé.

Une solution fermée a une caractéristique qui ne peut être égalée : vous pouvez voir exactement ce qui se passe.

La solution prend deux formes limitantes :

a) Pour une échelle de temps bien plus longue que le temps d'atténuation, les changements sont lents. L'équation de conservation alors se réduit à un balancement entre la source induite par la température et l'écoulement non conservatif :

$$\text{Échelle de temps long : } \frac{\omega}{\alpha} \rightarrow 0$$

$$\text{balancement limitant : } \gamma T = \alpha r$$

Le taux de croissance de CO2, r , est alors limité parce que les émissions induites par la température est contrebalancé par l'absorption non conservative.

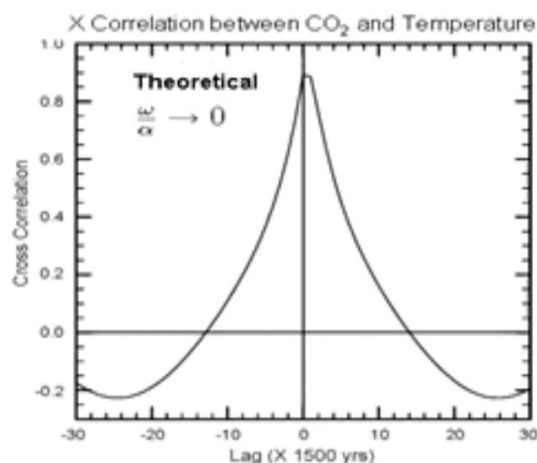
Dans cette limite, la phase entre le CO2 et la température approche de zéro :

$$\text{phase limitante : } \varphi_{\tau r}(\omega) \approx 0$$

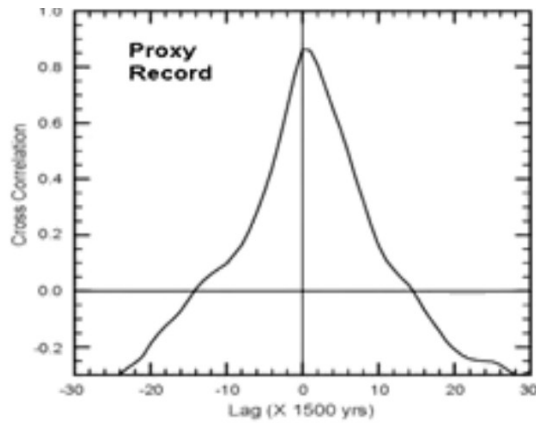
les deux évoluent en phase. Un tel aspect caractérise des changements de composition qui sont fortement non conservatifs. Cela veut dire que le CO2 est soustrait par des processus dissipatifs presque aussi vite qu'il est introduit par les émissions induites par la température.

Ces aspects sont manifestes dans les enregistrements proxy, qui impliquent des échelles de temps plus longues que plusieurs milliers d'années.

Cela est la covariance calculée [théorique] entre le CO2 et la température dans la limite d'échelles de temps long :



Ça vous rappelle quelque chose ?



Dessous est la covariance évaluée plus haut, de l'enregistrement proxy... (silence d'appui...)

b) A l'autre extrême, à une échelle bien plus courte que le temps d'atténuation, les changements sont alors rapides.

Échelle de temps court : $\frac{\omega}{\alpha} \rightarrow \infty$

L'équation de conservation alors se réduit à un balancement entre le taux d'accroissement de CO₂, c'est la dérivative du temps coté gauche, et la source induite par la température, qui alors est sans compensation :

$$\text{Balancement limitant : } \frac{dr}{dt} = \gamma T$$

Le taux de croissance de CO₂, r , est donc sans limitation. Le CO₂ peut alors s'accumuler très vite, dépendant de la température.

Dans cette limite, la phase entre CO₂ et la température approche.... - 90° :

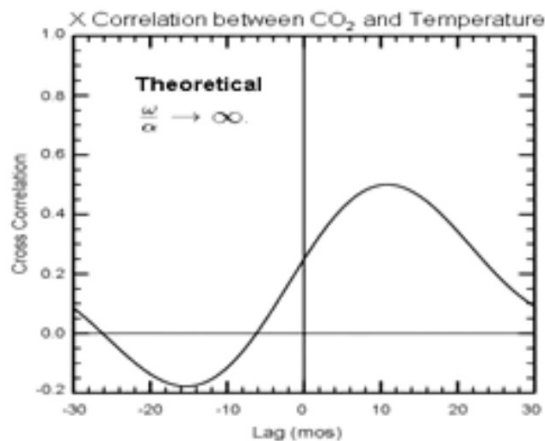
$$\varphi_{tr}(\omega) \approx -\frac{\pi}{2} \text{ en quadrature, (conservatif)}$$

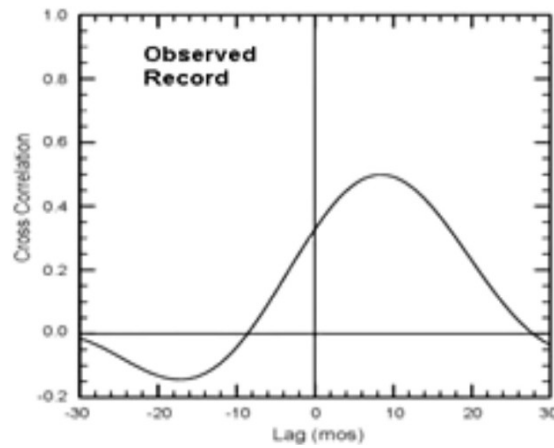
les deux évoluant en quadrature, le CO₂, en retard sur la température, d'un quart de cycle.

Ces aspects caractérisent les changements de composition qui sont conservatifs. « Conservatif » veut dire que le CO₂ soustrait par des processus non conservatifs, ne peut pas suivre le rythme de son introduction par l'émission induite par la température. Les processus de dissipation sont lents.

Et ces aspects sont manifestes dans les enregistrement d'observations dans une échelle de temps plus petite que le siècle.

Voilà la covariance croisée calculée pour la limite de l'échelle de temps court :



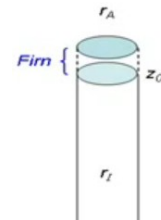


celui de dessous, la covariance croisée évaluée plus haut de l'enregistrement des observations.

L'impact des influences non conservatives est traduit dans les phases qui diffèrent fondamentalement, dans les enregistrements proxies et ceux observés.

Au sommet de la colonne de glace, dans le névé d'épaisseur Z_0 , le rapport de mélange de la glace, r_I , est égal au rapport de mélange de l'atmosphère, r_A :

$$r_I(Z_0, t) = r_A(t)$$



La signature de la composition de l'atmosphère ensuite descend à la vitesse c . Son évolution est décrite par la dérivée lagrangienne :

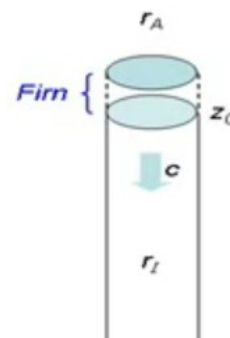
$$\frac{\partial r_I}{\partial t} + c \frac{\partial r_I}{\partial Z}$$

le taux du changement dans un cadre de référence qui descend avec la glace.

Si l'influence non conservative dans la glace est absente, les dérivées du lagrangien disparaissent. La signature de l'atmosphère alors descend en conservatif, préserve les signatures imprimées dans le névé.

Si des influences non conservatives sont présentes, la dérivée lagrangienne est atténuée, à un taux α_I :

$$\frac{\partial r_I}{\partial t} + c \frac{\partial r_I}{\partial Z} = -\alpha_I r_I$$



C'est l'équation de la conservation qui gouverne le CO2 dans la glace.

Cela se résout par la méthode des caractéristiques où la profondeur se transforme en temps. Combien faut-il de temps à la glace pour descendre à un niveau donné.

L'équation de conservation alors prend la même forme que celle que l'on vient de voir, mais avec l'atténuation effective, α_e :

$$c \frac{\partial r_I}{\partial z} + \alpha_e r_I = \gamma_e T_I$$

α_e qui est la somme de l'atténuation dans l'atmosphère, et de l'atténuation postérieure dans la glace :

$$\alpha_e = \alpha_A + \alpha_I$$

Cela solutionne le terme du spectre à la puissance de CO2, dans la glace, $|R_I^{\alpha_I}|^2$: le changement du proxy CO2 à une fréquence, plus à une autre fréquence. Comme la solution vaut pour une atténuation arbitraire, il peut être évalué pour une atténuation nulle : ce qui aurait été enregistré dans la glace dans des conditions conservatives. Cela à son tour représente le spectre à la puissance de CO2 dans l'atmosphère.

Le quotient :

$$\frac{|R_I^{\alpha_I=0}|^2}{|R_I^{\alpha_I}|^2}$$

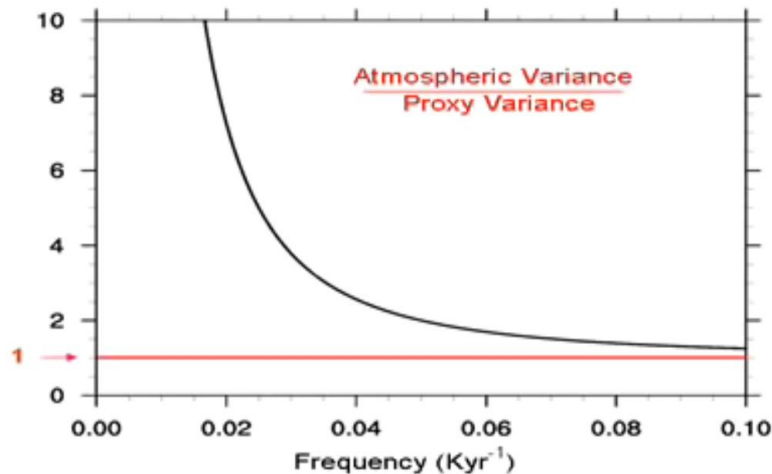
alors décrit, fréquence par fréquence, comment le changement de CO2 dans l'atmosphère est relié au CO2 du proxy, à savoir, ceux vus dans la glace.

La variance du CO2 atmosphérique est grandie par rapport à celle du CO2 du proxy.

$$\frac{|R_I^{\alpha_I=0}|^2}{|R_I^{\alpha_I}|^2} = 1 + \frac{\alpha_I^2}{\omega^2} \quad \text{Impact des influences non conservatives}$$

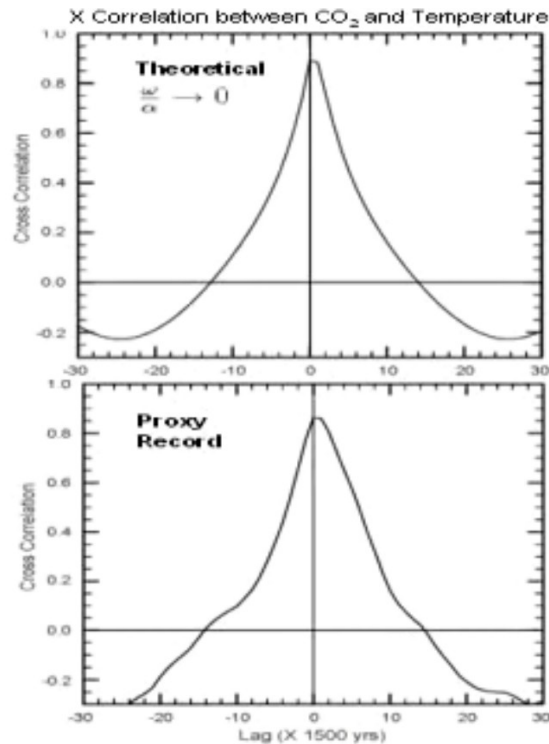
De la même manière, les changements du CO2 de l'atmosphère sont sous-estimés dans l'enregistrement proxy.

Leur sous-estimations augmente avec l'échelle de temps, quadratiquement :



Ce que vous regardez, c'est le rapport du changement de CO2 dans l'atmosphère vs le changement qui apparaît dans la glace comme fonction de la fréquence, ou échelle de temps inverse. Ainsi quand vous allez vers de larges fréquences [courte échelle de temps, 0,1 = 10 000 ; 0,01 = 100 000], ce ratio va vers 1, ce qui veut dire que le changement qui s'est produit dans l'atmosphère est égal au changement qu'on voit dans la glace. Mais si vous allez vers de basses fréquences, des échelles de temps plus longues, ce rapport rapidement devient bien plus grand que 1. Et cela veut dire que le changement dans l'atmosphère, est bien plus grand que le changement apparent dans la glace. Pour cette raison, même une atténuation faible dans la glace, peut réduire substantiellement le changement du rapport de mélange apparent sur les grandes échelles de temps.

L'effet est illustré par l'atténuation qui recouvre la covariance dans l'enregistrement proxy qu'on a vu plus avant :



Un changement du proxy CO₂ sur une échelle de temps de dizaines de milliers d'années donc sous-estime le changement atmosphérique par un facteur 2 [sur la fig. plus haut 2 correspond à 0,05 soit 20 000 ans]. Des balancements de proxy CO₂ de 20 ppmv alors en fait sont dérivés de changement dans l'atmosphère de 40 ppmv. Un changement de proxy CO₂ sur une échelle de temps de 100 000 ans donc sous-estime le changement atmosphérique d'un facteur 15. Des balancements de CO₂ proxy de 100 ppmv lors du cycle glaciaire donc sont dérivés de changement dans l'atmosphère de plus de 1000 ppmv. On peut donc difficilement dire que les changements observés dans le 20^{ème} siècle sont sans précédents... (il l'appuie d'un silence).

L'influence non conservative considérée jusqu'à maintenant agit à des échelles différentes avec une même efficacité. Dans la glace cependant, l'atténuation peut varier avec l'échelle verticale des structures proxy, qui se traduit en échelle de temps.

La dissipation sélectionnée par l'échelle est symbolisée par la diffusion, qui varie inversement avec l'échelle verticale. Petite échelle avec un gradient raide sont diffusées plus vite que des échelles longues avec des gradient plats.

L'équation de conservation dans la glace donc prend une forme comparable à celle vue plus tôt, mais avec la valeur-limite, CO₂ dans le névé, prise dans l'équation.

$$\frac{\partial r_I}{\partial t} + c \frac{\partial r_I}{\partial Z} = \dot{S}_{r_I}(z,t) - \alpha_I r_I + \nu \frac{\partial^2 r_I}{\partial z^2} \quad \text{Dissipation à échelle sélective}$$

$\dot{S}_{r_I}(z,t)$ étant la valeur limite atmosphérique $\frac{dr_A}{dt} \delta(z-z_0)$

Le vrai ajout est la deuxième dérivée qui représente la diffusion.

Si l'on transforme la profondeur en temps,

$$r_I(z,t) = f(z-ct,t)$$

réduit l'équation de la conservation à l'équation de la diffusion.

Elle peut être résolue via une transformation de Fourier.

La solution apparaît comme un spectre d'échelle de nombre d'ondes verticales.

$$f(z,t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(k,t) e^{i,k(z-ct)} dk$$

Qui descend de manière non dispersive avec la vitesse c . Cette intégrale est analogue à l'intégrale de Fourier

qu'on a vu plus haut. Elle représente la superposition d'ondes, d'échelles différentes, qui toutes descendent avec la vitesse de la glace. Si on peut déterminer l'amplitude et phase des nombres d'ondes individuels, alors on a résolu l'équation de la conservation. Et cela à son tour nous dit comment le CO2 évolue dans la glace.

Le nombre d'onde k est gouverné par l'équation de conservation :

$$\frac{dF}{dt} + A(k)F = \gamma T$$

Il a la même forme que l'équation résolue plus tôt.

L'effet de l'atténuation, maintenant inclue la contribution, qui s'accroît de façon quadratique avec le nombre d'onde :

$$A(k) = \alpha_A + \alpha_I + \nu k^2$$

Puisque la profondeur se traduit en temps, le nombre d'onde se traduit en fréquences.

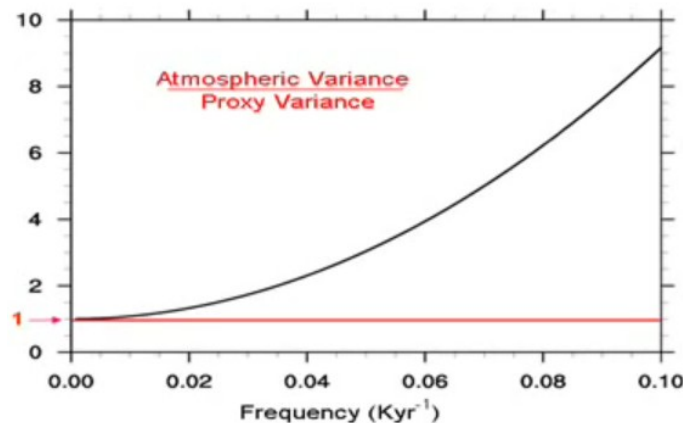
Hautes fréquences, échelles de temps courtes, sont plus atténuées, que les basses fréquences, échelles de temps long.

Comme avant, la solution permet les proxy CO2 $|R_I^{\alpha_I, \nu}|^2$, soit le CO2 qui apparaît dans la glace, à être comparé contre le CO2 atmosphérique, soit le CO2 qui était réellement dans l'atmosphère :

$$\frac{|R_I^{\alpha_I, \nu=0}|^2}{|R_I^{\alpha_I, \nu}|^2}$$

Les changements en CO2 atmosphériques sont une nouvelle fois sous-estimés dans l'enregistrement proxi, mais maintenant, leur sous-estimation s'accroît avec la fréquence :

$$\frac{|R_I^{\alpha_I, \nu=0}|^2}{|R_I^{\alpha_I, \nu}|^2} = 1 + \frac{\omega^2}{\omega_{1/2}^2} \quad \omega_{1/2} = \frac{c^2}{\nu}$$



Hautes fréquences, échelles de temps court, qui sont conservatives, sont supprimées dans la glace.

Comportement limite

Échelle de temps court : $\frac{\omega}{\alpha} \rightarrow \infty$

Balance limitante $\frac{dr}{dt} = \gamma T$ r , taux de croissance : sans limite

Phase limitante $\varphi_{\tau r}(\omega) \approx -\frac{\pi}{2}$ en quadrature (conservatif)

Laissant les basses fréquences, échelles de temps long, qui sont fortement non conservatives

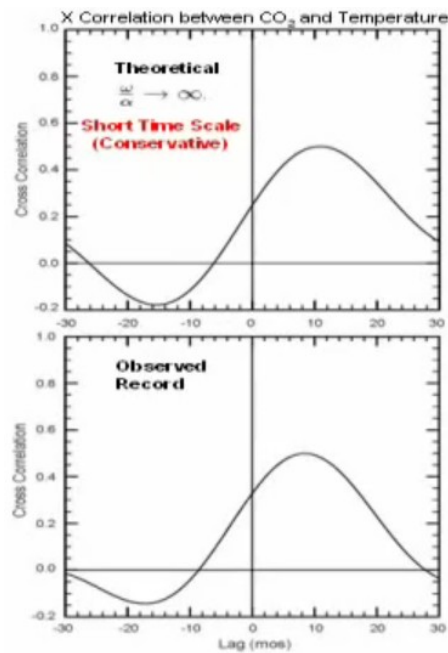
Comportement limite

Balance limitantes $\gamma T = \alpha r$ r , taux de croissance : Limité

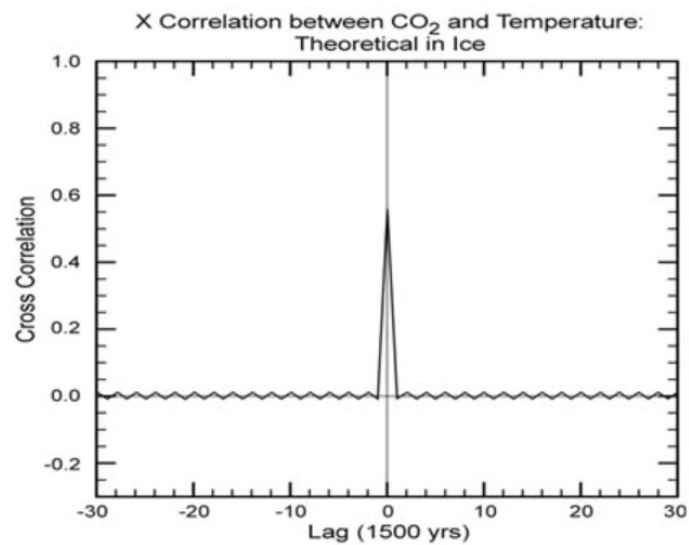
Phase limitante $\varphi_{\tau r}(\omega) \approx 0$ en Phase (fortement non conservative)

Calculé en premier est la covariance croisée dans les conditions de non diffusion dans la glace. Pour l'atténuation, la variabilité interprétée semble précocement retrouver la covariance croisée dans l'enregistrement observé, ce qui est mesuré dans l'atmosphère. La covariance dans la glace entre la température et le CO2 alors a la même forme que dans l'atmosphère. Elle diminue sur une échelle de temps

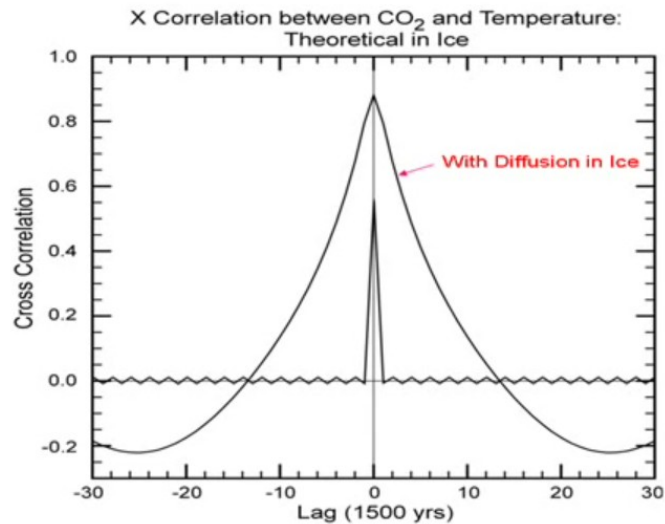
de seulement quelques mois.



Sur l'échelle de temps étendue de l'enregistrement proxy, il s'effondre donc en un pic, aussi étroit qu'on puisse le représenter à une échelle de temps de 1500 ans.



Si l'on introduit la diffusion dans la glace, la covariance croisée est transformée dans la courbe du haut [silence d'appui] :



qui décrit une échelle de temps bien plus longue, la covariance croisée calculée alors retrouve comme ce qui a été évalué dans l'enregistrement proxy.

Les deux courbes suivent de la même sensibilité de l'émission CO₂ à la température, comme cela est observé au XX^{ème} siècle.

Si l'on retire l'échelle de temps court, ces résultats dans l'enregistrement observé font comme raréfier l'atténuation [? : |scarces like the damping]], font de la discrimination vers les échelles de temps long, qui sont fortement non conservative.

C'est ça qui est trouvé dans l'enregistrement proxy... (silence d'appui).

Ce comportement a deux implications clés.

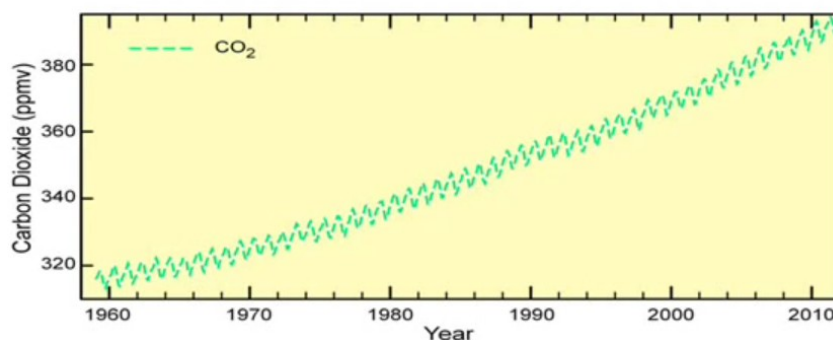
- Les influences non conservatives inhérentes à l'enregistrement proxy rendent possible de sous-estimer de manière significative les changements atmosphériques passés.

Plus important :

- Le même mécanisme qui gouverne les anciens changements (échelles de temps plus longues que plusieurs milliers d'années) aussi gouverne les changements modernes (échelles de temps plus courtes que un siècle).

Et cela nous amène aux changements modernes, ceux qui sont de fait observés.

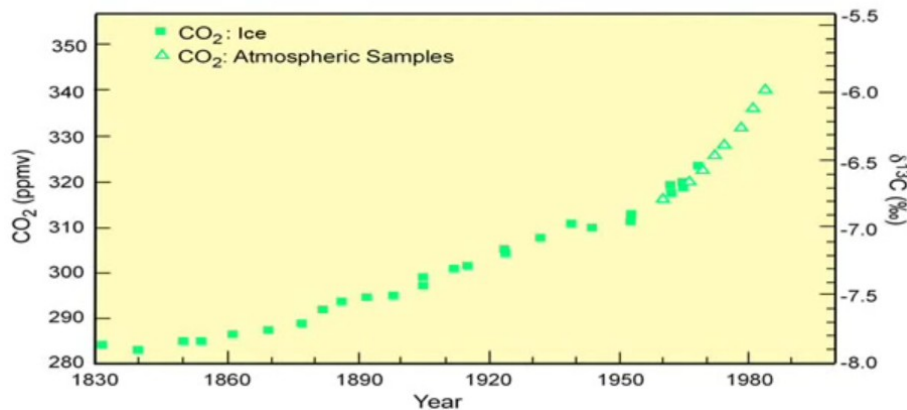
Evolution during the 20th Century



L'enregistrement observé de CO₂ s'étend sur le dernier demi-siècle.

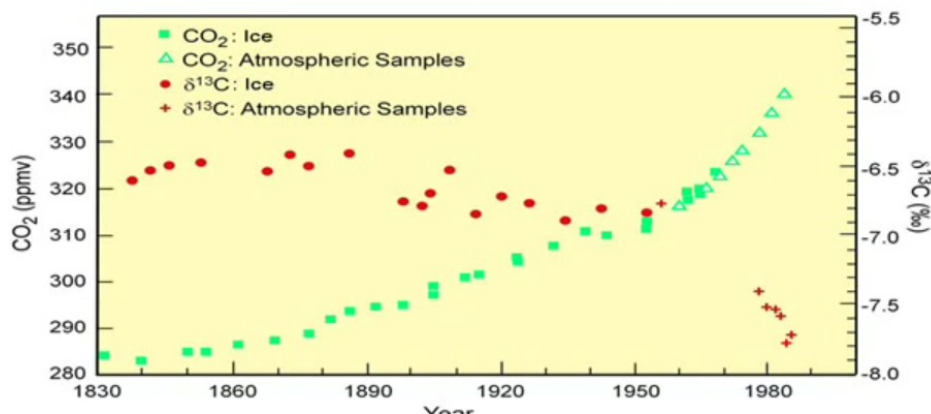
Si on le prolonge en arrière avec l'enregistrement proxy indique un accroissement systématique depuis le IX^{ème} siècle :

Evolution during the 20th Century



En rouge est $\delta^{13}\text{C}$, la concentration relative des deux isotopes, C_{13} to C_{12} . Il donne l'évidence d'un déclin :

Evolution during the 20th Century



qui fait miroir avec l'accroissement de CO_2 .

Avoir ces enregistrements proxi, fait le « smoking gun of human emissions » [= la signature des émissions humaines]

La végétation a un petit peu moins de C-13 que l'atmosphère. Aussi le sont ses ancêtres, les combustibles fossiles. Le charbon et le pétrole chacun est dérivé d'une ancienne végétation. Les émissions de combustion des combustibles fossiles donc ajoute du CO_2 à l'atmosphère, enrichissent sa concentration. C'est la courbe verte. Le CO_2 ajouté cependant est un peu plus pauvre en C-13 que l'atmosphère et donc dilue sa concentration. C'est la courbe rouge.

Le gant s'adapte bien.

En vrai, il l'est sauf pour un doigt [traduction incertaine]

La combustions des combustibles fossiles est une de beaucoup de sources. D'autres impliquent un large éventail de processus natifs. La plupart sont pauvrement documentés.

L'interprétation récente est que les changements opposés de CO_2 et C-13, les courbes vertes et rouges, sont la signature des émissions humaines.

Pour que cette interprétation soit valides, les autres sources, les sources natives, doivent avoir la même concentration en C-13, que l'atmosphère, qui alors sera laissé inchangé.

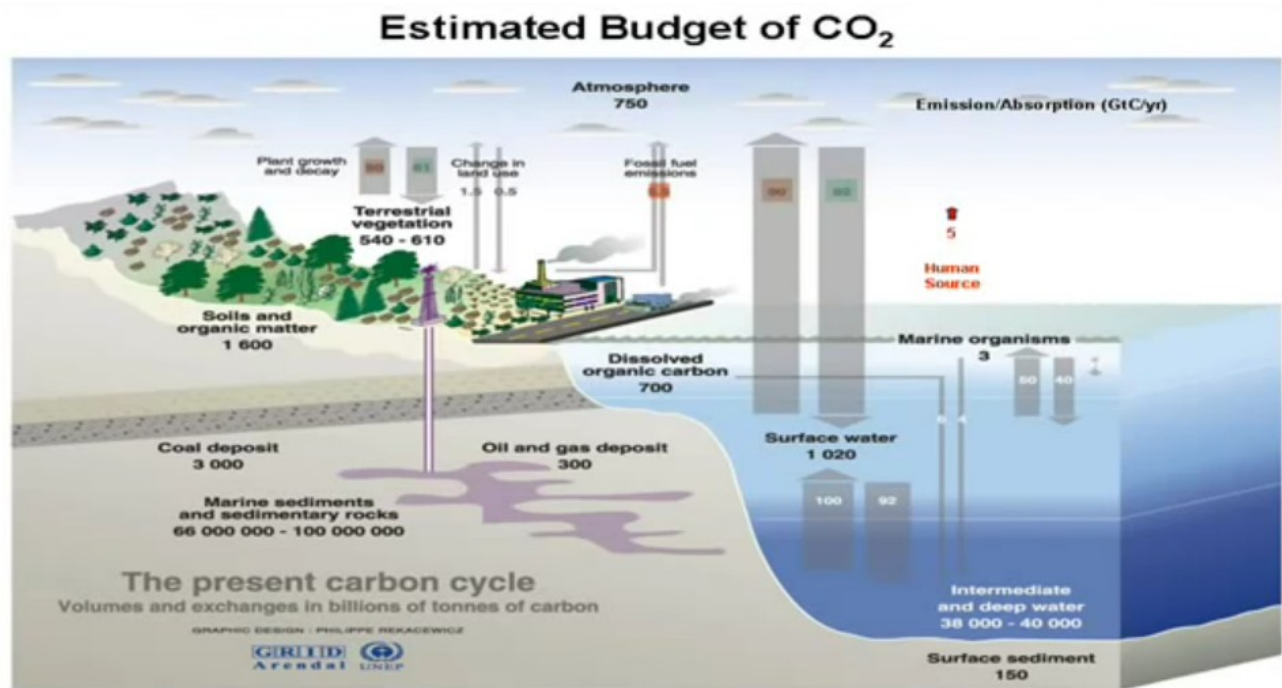
C'est à dire, le CO_2 émis par les sources natives ne doit pas diluer le C-13 dans l'atmosphère.

L'accroissement observé de CO_2 et diminution de C-13 peuvent alors venir seulement de la source humaine.

Dans la réalité notre connaissance des sources natives est limitée. Ce que nous savons cependant, c'est qu'elles sont dynamiques. Les sources natives dépendent de manière intrinsèque ddes conditions environnementales, les nuages, l'humidité, température, même... [?] écosystème.

Pourquoi devrait-on se soucier de ça ?

Voilà les estimations de contribution de toutes les sources et évacuations :



La source humaine est de l'ordre de 5, gigatonnes par an. En comparaison l'océan émis de l'ordre de 90, les terres un autre 60. Les émissions totales des sources natives est ... 150 gigatonnes par an, 96 % du total. Cela est balancé approximativement par des évacuations natives, qui absorbent à peu près la même quantité. Le mot clé : « approximativement ». Parce que les émissions et évacuations natives sont plus élevés de deux ordres de magnitude. Même un inbalancement mineur peut recouvrir la source humaine. De plus, si ces sources impliquent du C-13, un peu plus faible que dans l'atmosphère, ce qui est la cas de beaucoup, encore mieux.

En vrai, seul un composant du budget CO₂ est connu avec de la certitude, les émissions humaines, implicites des enregistrements d'extraction. Combien de charbon et le pétrole sont extraits. Cela compte pour seulement 4 % du total. Les autres 96 % de sources natives restent obscurs. Parce que les observations globales de flux de surface, les chemins par lesquels le CO₂ vient à l'atmosphère, n'existent pas. On n'a d'enregistrement continu de seulement une poignée de sites. Et même ceux- là sont des enregistrements de CO₂, pas son flux de surface, qui forcent le budget CO₂ de l'atmosphère. Cela laisse la source et évacuations dominantes, pas précise mais floue. S'ils changent, on n'a pas les observations pour le savoir, au moins pas directement.

Heureusement, ça n'est pas la fin de l'histoire.

Notre contrôle du CO₂ atmosphérique sont les émissions nettes, prises de toutes sortes de sources et de captages :

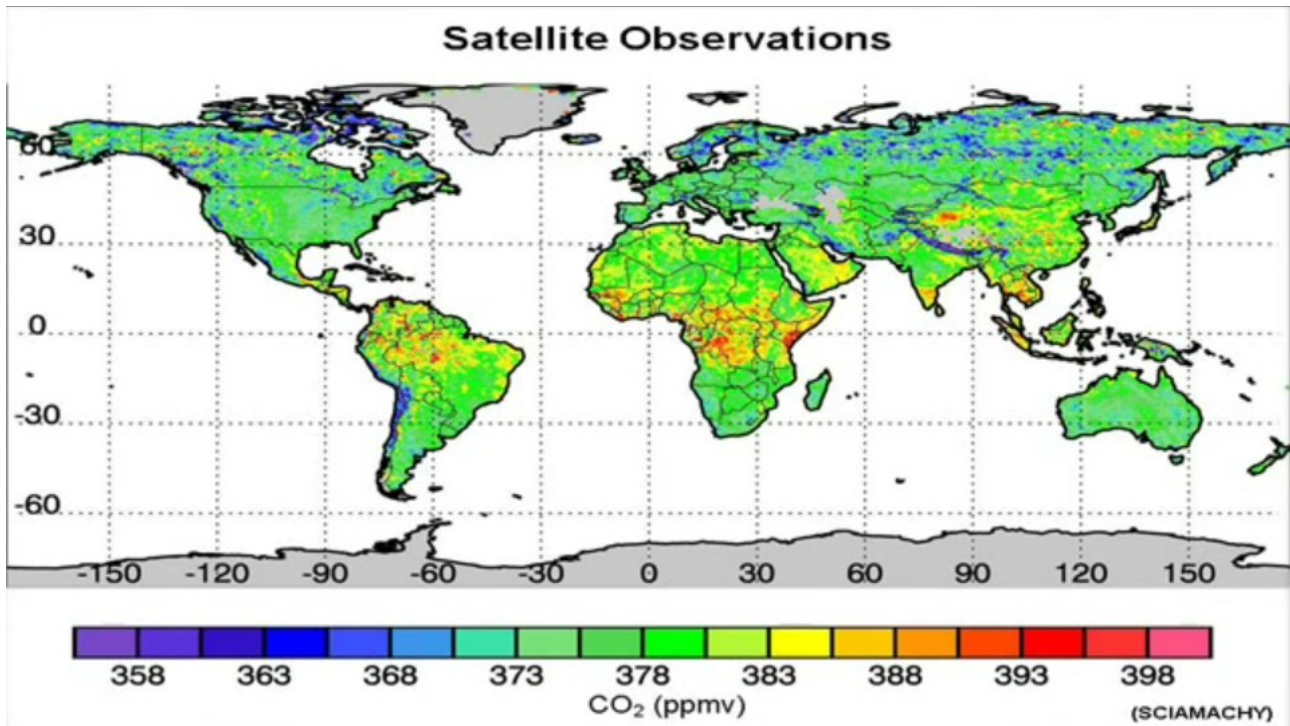
$$\text{Net Emission Rate} = \sum \text{Sources}(t) - \sum \text{Evacuations}(t)$$

L'émission nette est juste la somme du CO₂ ajouté par toutes les sources moins la somme de tout le CO₂ retiré par toutes les zones de captage. Cela détermine le taux de croissance du CO₂ :

$$\text{Taux de croissance du CO}_2 = \frac{dr_{\text{CO}_2}}{dt} = \dot{C}_{\text{O}_2} \quad r_{\text{CO}_2} : \text{moyenne globale de CO}_2$$

Parce qu'il est conservé dans l'atmosphère, le CO₂ est homogénéisé par la circulation, qui le mélange et rend sa distribution approximativement uniforme sur une longue échelle de temps.

Ceci est la distribution globale de CO₂ :

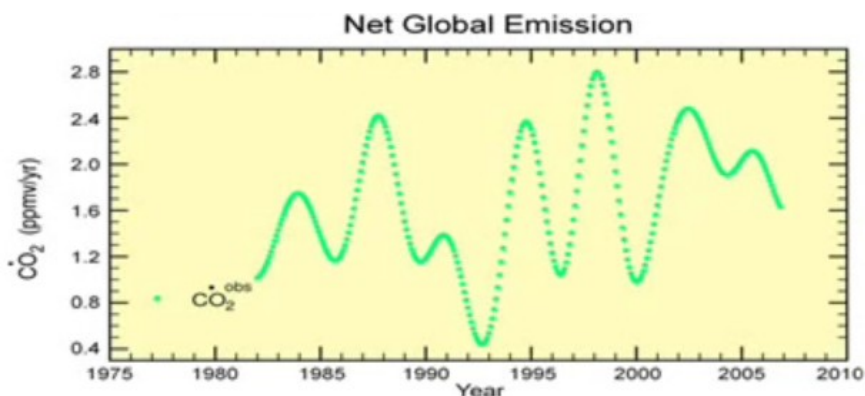


seulement récemment disponible des satellites, comme Sciamachy. Même ces observations modernes, sont limitées en contenu. Mais cela pour les sources humaines. Les valeurs élevées, en jaune et rouge, sont les signature de la richesse des sources. Remarquez qu'on ne les trouvent pas aux centres industriels, la Ohio valley aux USA, ou Europe occidentale, ou même Chine, elles apparaissent plutôt sur la rivière amazon, l'Afrique tropicale et l'Asie du Sud-Est. Ces régions ont peu de population humaine, ne parlons pas d'industrialisation. Ce que je voudrais vraiment que vous remarquiez est que même dans ces régions sources, le CO₂ dévie de sa moyenne globale, par moins de 5 %.

Les valeurs locales de CO₂ sont donc de bonnes approximations de sa moyenne globale, qui a son tour donne l'histoire de son émission nette globale.

$$\text{Taux de croissance du CO}_2 = \frac{dr_{\text{CO}_2}}{dt} = \dot{\text{C}}\text{O}_2$$

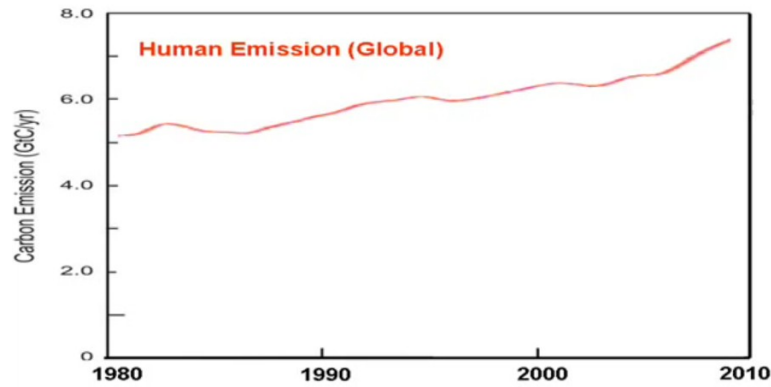
En vert, l'émission nette pendant l'ère satellitaire, où on a une observation globale de la température.



Elle a une moyenne d'environ 1,5 ppmv/an. Mais elle varie considérablement entre les années, par plus de 100 %, de presque zéro certaines années, à presque 3 ppmv par an pour d'autres.

Est-ce que j'ai besoin de vous dire que les émissions humaines ne font rien qui ressemble à ça ?

En rouge, les émissions humaines augmentent de manière lisse :



C'est un miroir de la croissance de la population humaine, avec une déviation de seulement une paire de pourcents.

En contraste, les déviations observées de l'émission nette excèdent cent pour cent. Elles sont **incohérentes** avec les émissions humaines : L'émission globale nette évolue indépendamment de la contribution humaine.

L'enregistrement de l'émission nette cependant, ressemble aux propriétés de la surface.

Pendant 1991-92, l'émission nette décroît, de 70%. Puis rebondit progressivement les 3 années suivantes.

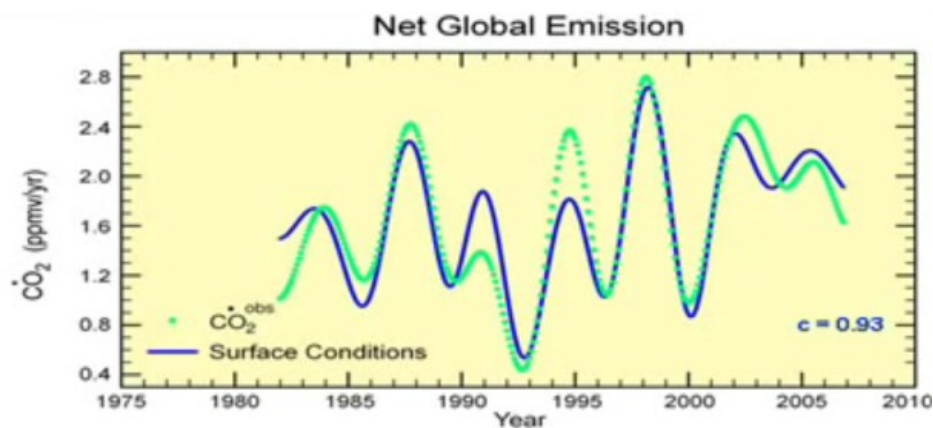
Cet évènement coïncide avec l'éruption du Pinatubo qui a baissé la température globale de la même manière.

Pendant 1997-98, l'émission nette s'accroît, de 200%. Cet évènement coïncide avec El Nino alors qui a accru la température globale.

Les correspondances pendant ces évènements sont rendues consistantes par des mesures de terrain d'émissions de CO₂, c'est à dire des mesures locales où quelqu'un dehors enfonce un pic dans le sol, et de fait mesure ce qui sort de la surface où ce qui sort de l'océan. Ces campagnes révèlent une sensibilité forte aux propriétés de surface, température, qu'on a vu avant, avec le support additionnel de l'humidité du sol.

Un accroissement de l'un ou l'autre induit un accroissement d'émission de CO₂... de sources natives.

La contribution de l'émission induite de CO₂, vient en projetant l'enregistrement observé de l'émission connue, c'est la courbe verte, sur les enregistrements contemporains, de température, et d'humidité du sol.



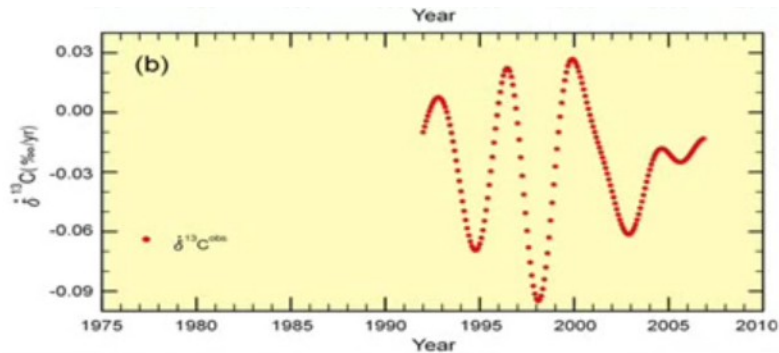
Field Observations of Emission

Strong Sensitivity to Surface Properties: *Temperature*
Soil Moisture

En bleu (↑), est la composante induite d'émission nette, ... [mot non compris] de manière cohérente avec les

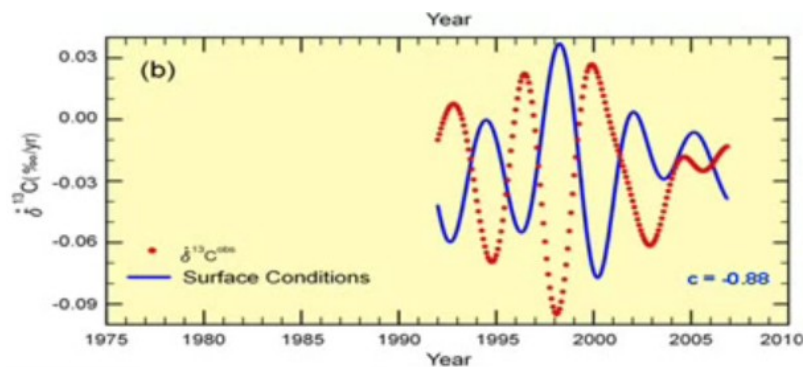
propriétés de surface. Bien que cela prend en compte seulement deux propriétés de surface clés, la composante induite suit de près l'émission nette. Il atteint la corrélation à l'émission nette CO₂ observée de 0,93 rendant compte de presque toute l'histoire de l'émission nette globale. La plus grande partie de la dépendance vient de la seule température, qui atteint la corrélation de 0,8.

En rouge est l'émission observée du Carbone 13.



Il a une moyenne qui est négative, consistant avec le déclin du carbone 13 vu plus avant. Mais comme le CO₂, il varie considérablement, par plus de 100 %.

En bleu est la composante induite par ... [mot non compris].



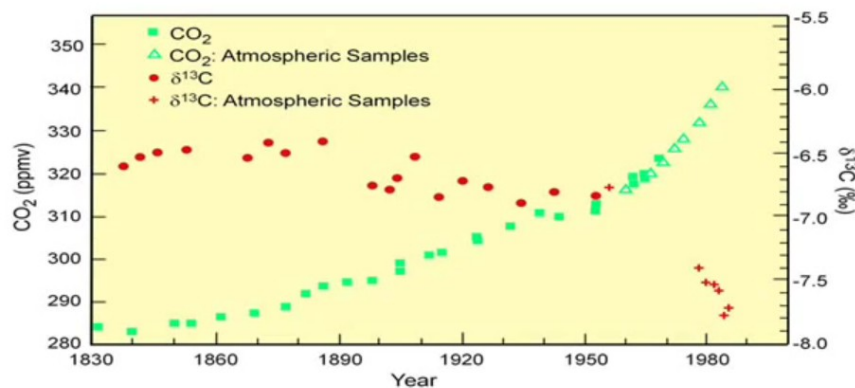
[... non compris encore] de manière cohérente avec les propriétés de surface.

Comme le CO₂, il varie de manière cohérente avec les émissions nettes de Carbone-13 observées. Juste en opposition. Quand la température s'accroît, l'émission de carbone 13 décroît, et vice-versa.

De même lorsque l'émission nette de CO₂ s'accroît, c'est la courbe verte, l'émission nette de carbone 13 décroît, c'est la courbe rouge.

Est-ce que cela ne fait pas tilt ?

Vous rappelez vous la « smoking gun » ? :

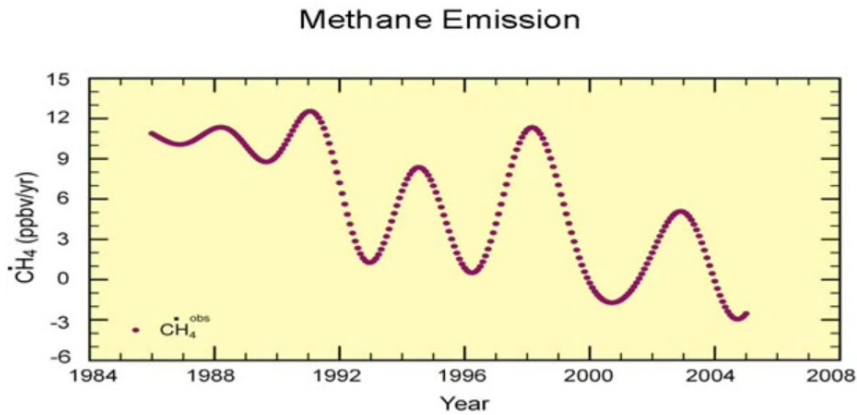


(silence d'appui)

Les changements opposés de CO₂ et carbone 13, sont les mêmes que ceux qui apparaissent dans les proxis

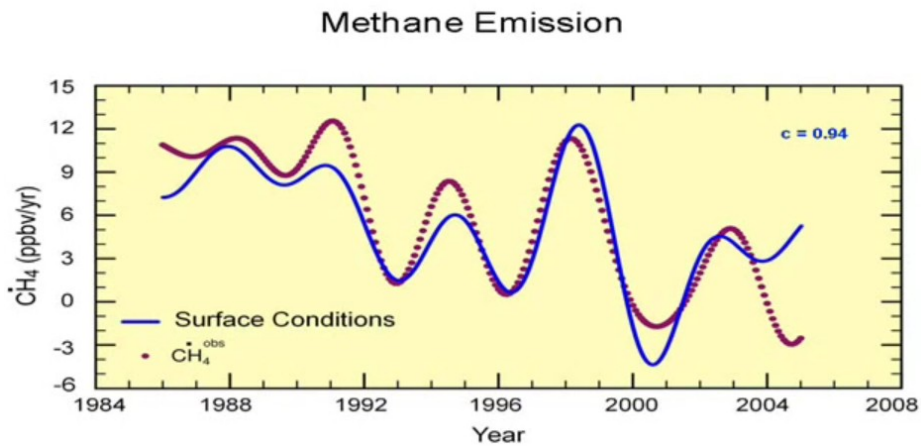
de la glace. Ces derniers sont considérés comme une signature de l'émission humaine. Mais dans l'enregistrement satellite le changement n'est clairement pas de l'émission humaine. Pas à moins que vous croyiez que l'émission humaine provoque des éruptions volcaniques et el nino.

En mauve l'enregistrement observé des émissions de méthane :



Il souffre de la même limitation que l'enregistrement de CO2. Mais il est même plus court. [« it is no word »]... que les sources humaines de méthane sont indépendantes des sources humaines de CO2, à moins que vous croyiez que la combustion favorise la flatulence des bovins, flatulence [mot non compris].

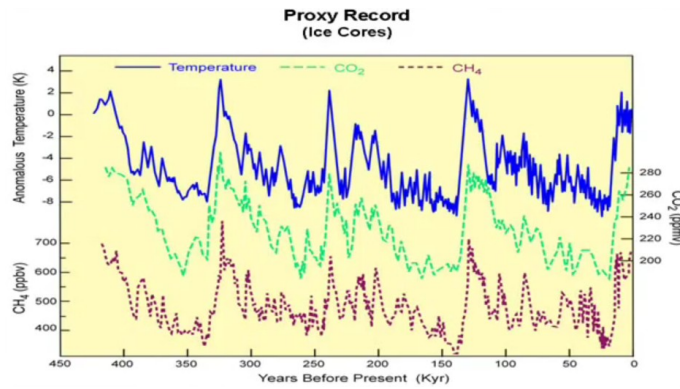
En bleu (↓) est la composante induite



[mot non compris] de manière cohérente avec la température, et l'humidité du sol.

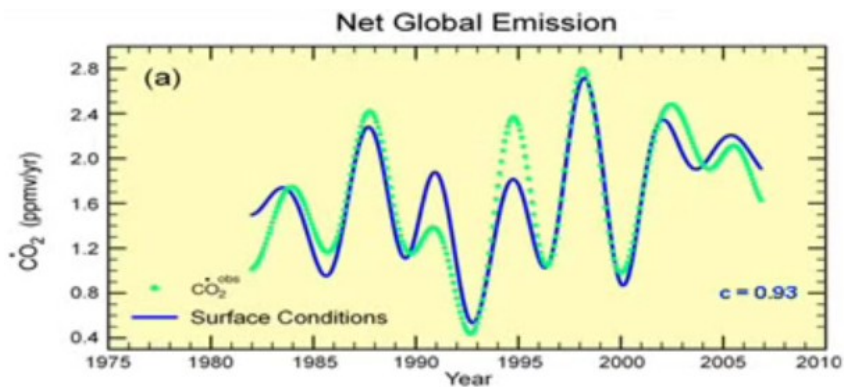
Les mêmes propriétés de surface qui rendent compte de la plus grande partie l'histoire de l'émission nette de CO2, également rendent compte de la plus grande partie de l'histoire de l'émission de méthane, donnant une corrélation de 0,94.

C'est ça que vous avez vu dans l'enregistrement proxy :



(silence d'appui).

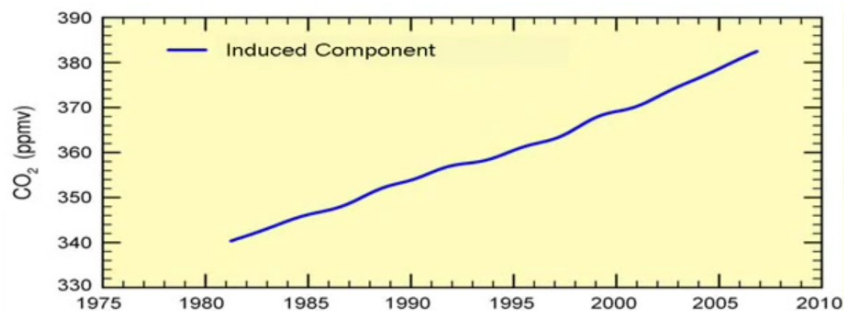
En première approximation, la courbe bleu est juste la température :



Elle résulte de la sensibilité des émissions natives, la partie induite par les changements de propriétés de surface.

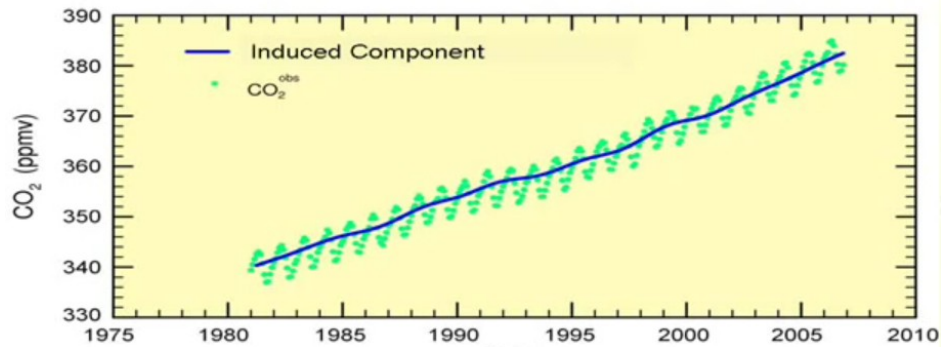
En intégrant cette émission sur le temps, c'est à dire en additionnant l'émission induite sur un an, plus l'année suivante, et ainsi de suite, produit le cumul de CO2 introduit par les propriétés de surface. Cela représente la contribution au changement de CO2 observé, des sources natives, qui dépend des propriétés de surface.

En bleu :



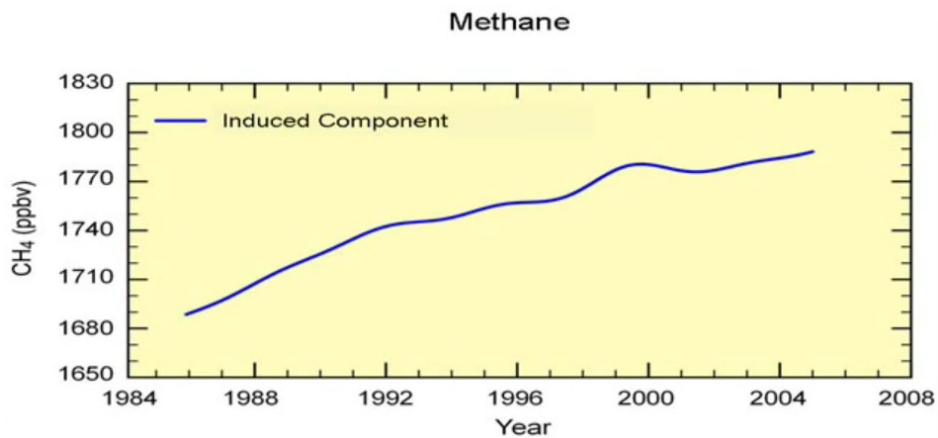
est la composante induite de CO2. Elle est déterminée entièrement par les propriétés de surface, température, du satellite MSU, et l'humidité du sol par l'analyse NCEP.

En vert est l'enregistrement observé de CO2 :



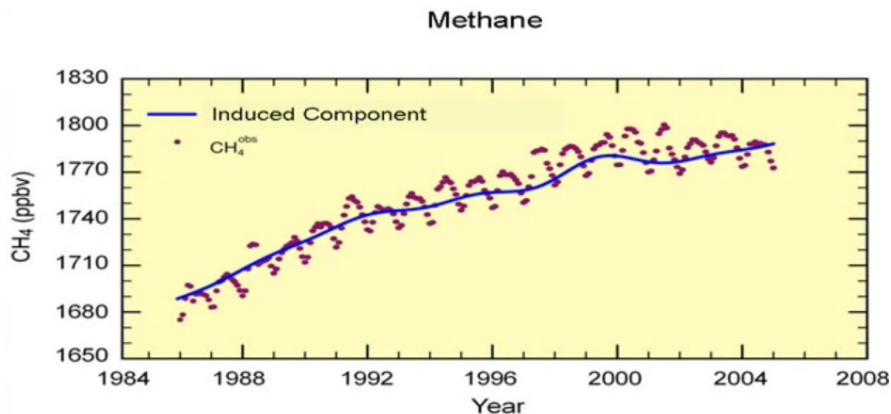
(silence d'appui...)

En bleu est la composante induite de méthane :



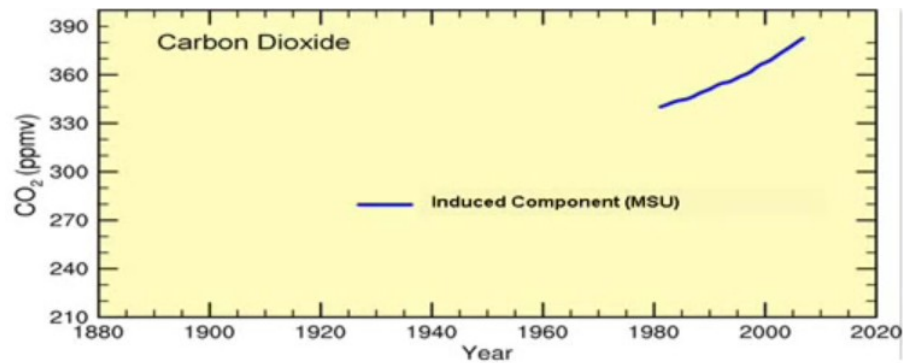
Elle aussi est déterminée entièrement par la température et l'humidité du sol. Remarquez que après le début des années 90, la tendance dans la composante induite s'évanouit presque.

En mauve est l'enregistrement observé de méthane :

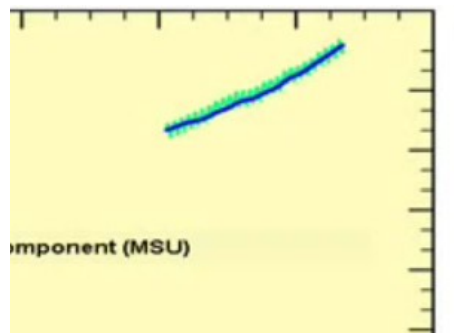


La sensibilité des émissions évaluées dans l'ère satellitaire devrait en principe déterminer la composante induite dans les années antérieures. Mais avant l'ère satellitaire, on n'a pas d'observation globale. La plus grande part de cette sensibilité cependant vient de la température. La température globale avant l'ère

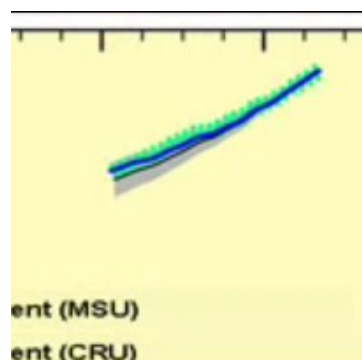
satellitaire est estimée du réseau de surface des thermomètres, [mot pas compris] couverture partielle de la Terre. En bleu est la composante induite de CO₂ :



de nouveau dérivée du satellite MSU, mais maintenant déterminée seulement de la température. Comme avant, son chemin est le même que celui de l'enregistrement observé de CO₂, en Vert :

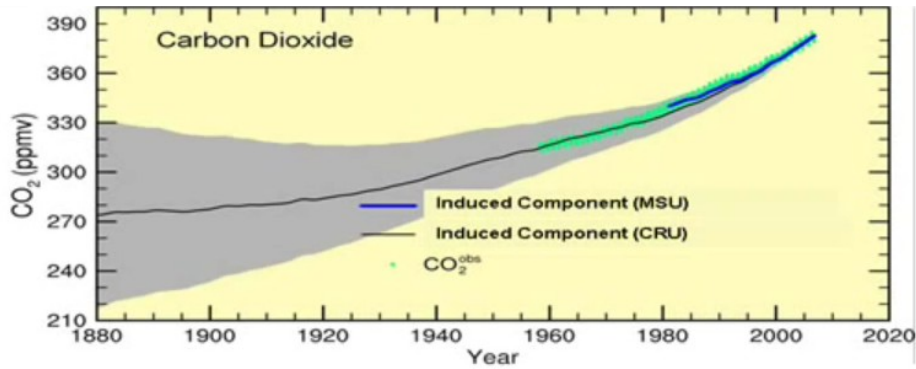


En noir est la même information, mais maintenant basée sur le réseau de surface, du CRU, le Climate Research Unit du Met Office de Gb Bretagne. L'incertitude d'échantillonnage est ombrée :



Représentant la contribution des sources natives, elle aussi a le chemin du CO₂ observé pendant l'époque satellitaire.

En fait elle a ce chemin en dehors de l'époque satellitaire :

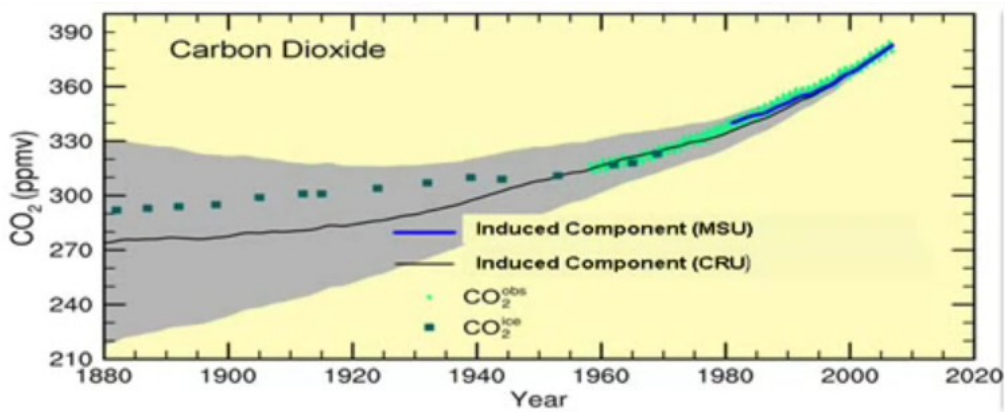


allant à 1960, lorsque les observations atmosphériques ont commencé.

Le CO₂ observé, c'est la courbe verte, et la composante induite, c'est la courbe noire, alors, les deux approchent 300 ppmv.

Avant 1960, la composante induite continue à décroître, approchant 275 ppmv, in 1880. L'incertitude qui s'accroît lorsqu'on recule est alors grande, allant de entre 220 et 330 ppmv.

Pendant cette première période, les observations continues de CO₂ n'existent pas. On a que du proxy CO₂. En vert est le proxy dans la glace, que vous avez vu au début :



Lui aussi diminue en reculant dans le temps, approchant 290 ppmv en 1880.

Ne laissons pas d'ambiguïté sur ce que vous regardez là : la courbe noire est juste l'intégrale de la température,

Échelle de temps court : $\frac{\omega}{\alpha} \rightarrow \infty$

Balance limitante $\frac{dr}{dt} = \gamma T$ r, taux de croissance : sans limite

Phase limitante $\varphi_{tr}(\omega) \approx -\frac{\pi}{2}$ en quadrature (conservatif)

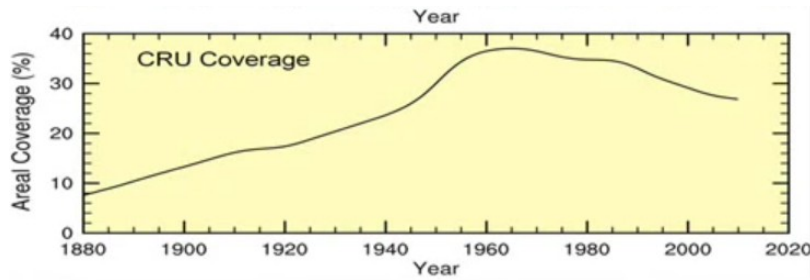
qui est mise à échelle par la sensibilité observée des émission de CO₂.

Et la sensibilité d'émission a été évaluée uniquement sur de large balancements d'émission entre les années, changements qui sont clairement indépendants des émissions humaines.

La modeste divergence avant 1940, environ 10 ppmv, se trouve bien dans l'incertitude d'échantillonnage du réseau de surface, mais en accord [...] avec l'erreur instrumentale, le dernier demi-siècle, elle peut en fait représenter l'air en proxy CO₂.

Elle peut aussi être une représentation de la limitation dans le réseau de surface.

Ci-dessous, la couverture de la Terre par le réseau de surface :



Elle a son maximum vers 1960, à 35 %. C'est le pourcentage de la Terre qui est du continent. Avant 1960 la couverture plonge. En 1880 la couverture de la Terre par le réseau de surface est moins de 8 %.

Le GIEC a déclaré ce qui suit :

« Implication :

Tout l'accroissement [de la concentration de CO₂ depuis les temps pré-industriels] est du aux activités humaines »

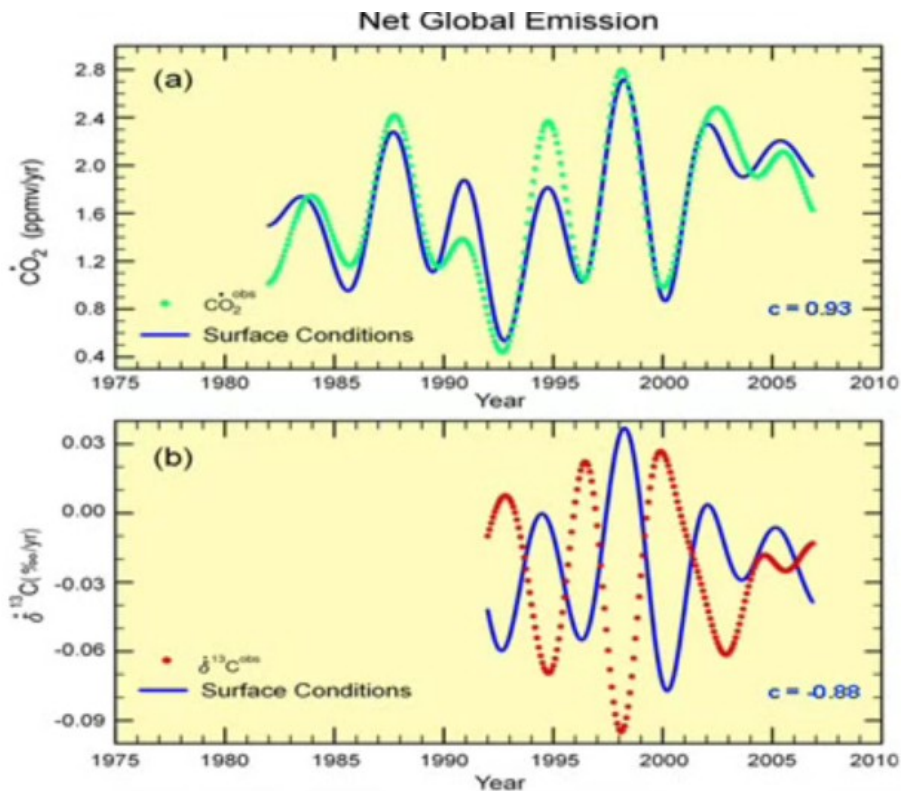
« On sait que la concentration accrue de CO₂ atmosphérique est due aux activités humaines à cause du caractère de CO₂ dans l'atmosphère, en particulier le rapport de ses atomes de carbone lourd sur léger a changé d'une manière qui peut être attribuée à l'addition du carbone des combustibles fossiles. »

(GIEC 2007)

La sensibilité observée des émissions native de CO₂ et du carbone-13 rend cela :

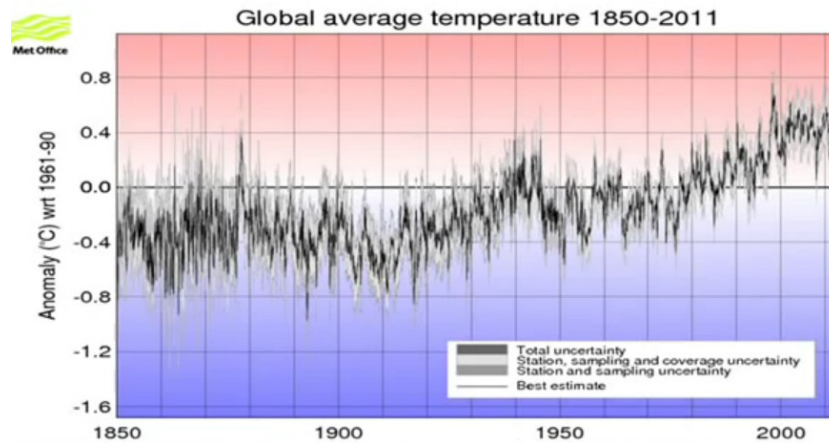
impossible

[il remet les courbes précédentes à l'écran à l'appui :]



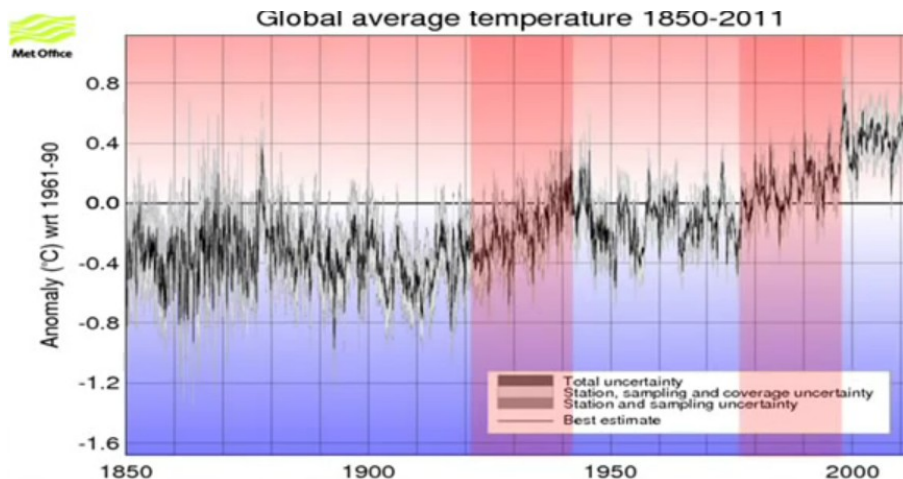
Et cela nous amène finalement à comment tout cela se présente dans le monde des modèles climatiques. Voilà le graphe de la température globale moyenne, du CRU :

Climate Model Simulations



La fin du XX^{ème} siècle est plus chaude que le début par juste en dessous d'un degré. Mais c'est peu une conséquence d'un réchauffement régulier. Plutôt, cela résulte de décennies consécutives de réchauffement qui ont été incomplètement annulées par des décades consécutives de refroidissement.

La différence en température globale repose presque entièrement sur justes deux intervalles :

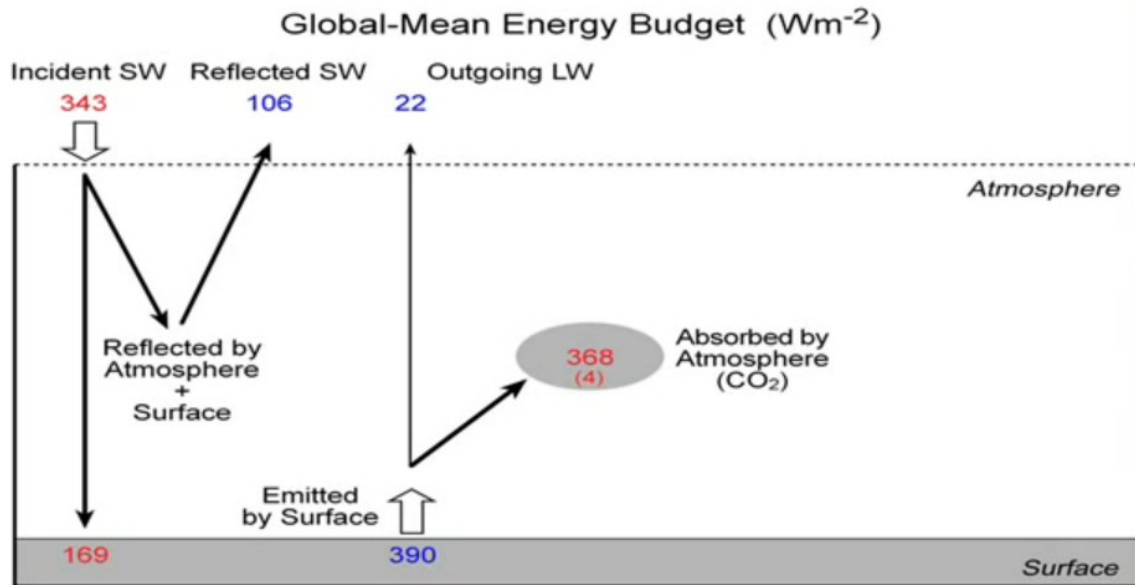


Deux décennies pendant la dépression et deux vers la fin du siècle, moins de 30 % de l'enregistrement. Et pour être rhétorique, ce sont les seuls intervalles où la température a une tendance qui soit même de même signe que la tendance du CO₂.

Depuis 1997, la température globale n'a pas montré de réchauffement. Et si quelque chose, il a montré un refroidissement progressif, pour la dernière décennie et demie.

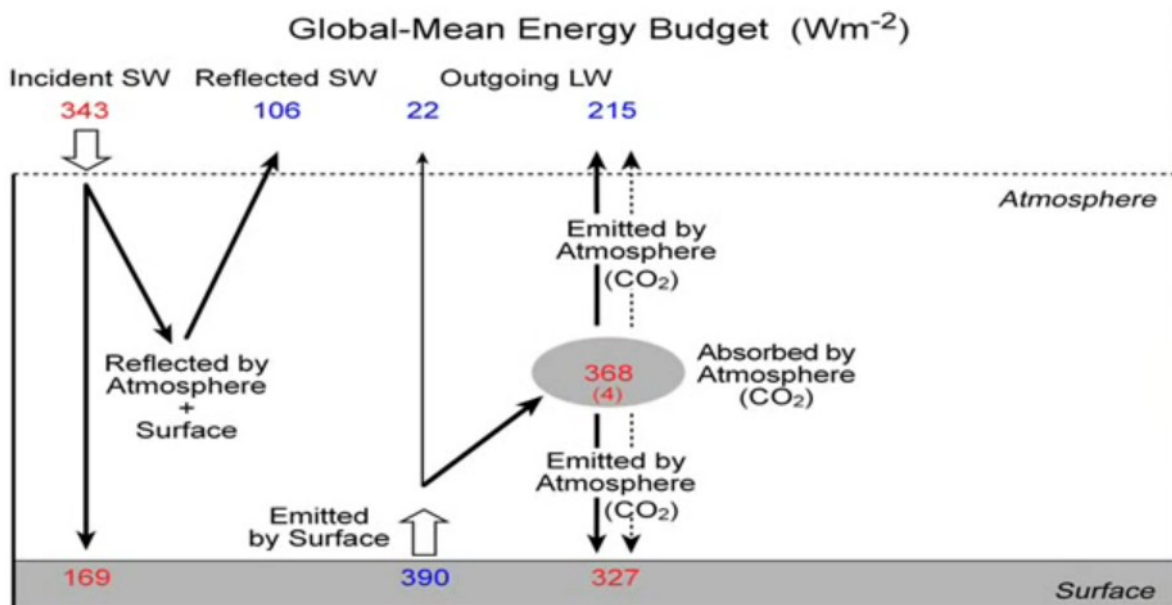
La température globale est contrôlée par le budget énergie global. Il est mesure en énergie de... ampoules. Une ampoule est de 100 watts.

L'énergie ondes courtes, du soleil, les radiations visibles, qui arrivent au sommet de l'atmosphère, est quelque chose comme ~ 300 watts par mètre carré. C'est équivalent à 3 ampoules qui illumine un mètre carré. De ces 300 w/m^2 , 30 % est réfléchi en arrière vers le ciel, par les nuages, la glace, et la neige. Le reste, les 70 % qui ne sont pas réfléchis vers le ciel, est absorbé. Sa plus grande partie passe directement à travers l'atmosphère qui est transparent aux radiations ondes courtes. Il est alors absorbé par la surface de la Terre qui par conséquent est chauffée. Pour maintenir un équilibre la surface émet de l'énergie en longues ondes, les radiations infrarouges, environ 400 watts par mètre carré, qui agit en refroidissant la surface de la Terre. Très peu de cela passe directement à travers l'atmosphère [il fait apparaître le 22 qui part vers le haut sur le schéma] qui est opaque aux radiations à ondes longues. Au lieu de ça, 95 % de cette radiation ondes longues, quelque 400 watts par mètre carré, est absorbé par l'atmosphère, principalement, par la vapeur d'eau, et les nuages. Ils sont les gaz absorbants primaires.



Un accroissement de CO₂ de 100 %, méthane et tous les autres gaz à effet de serre compte pour seulement 4 watts par mètre carré, un pourcent de l'absorption.

Pour maintenir un équilibre, l'atmosphère aussi émet des radiations ondes longues, presque autant est ré-émis vers le bas, ce qui représente l'effet de serre. Lui aussi chauffe la surface de la Terre, ce qui contrebalance la perte d'énergie par l'émission. Dans cette image, l'atmosphère se comporte comme une couverture. Plus il y a d'absorbants atmosphériques dans les radiations longues ondes, plus on a d'épaisseur de couverture et le plus on chauffe la surface de la Terre par les radiations ondes longues vers le bas.



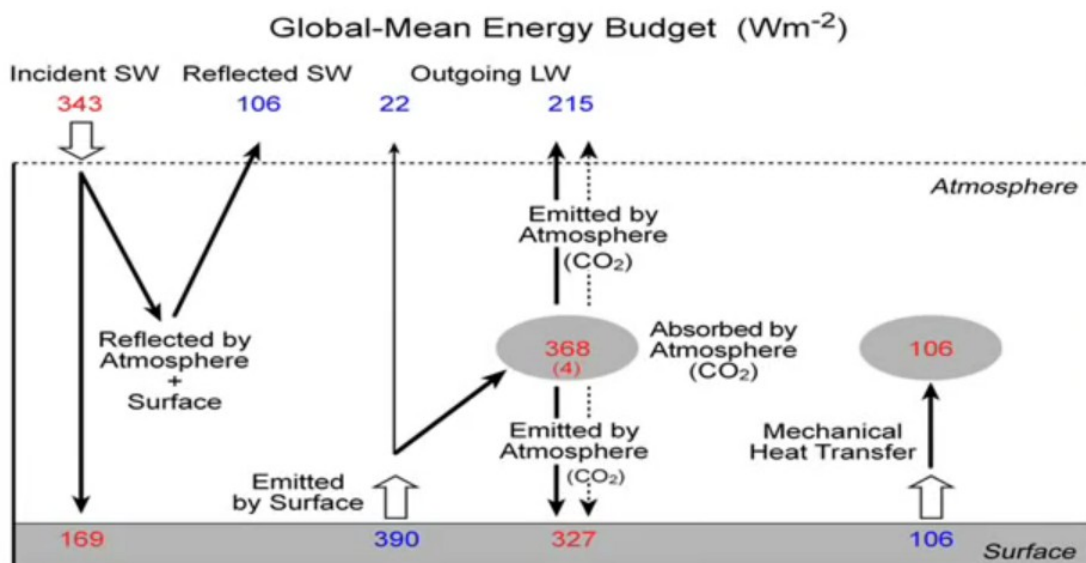
Comme le CO₂ contribue à l'absorption atmosphérique, accroître le CO₂ augmente l'épaisseur de couverture. Cependant, presque toute la couverture vient de la vapeur d'eau, et des nuages. Et comme tout autre chose dans ce système dynamique, ils changent.

Une grande part de l'énergie onde longue émise vers le haut par la surface de la Terre, refroidissement, est contrebalancée par de l'énergie onde longue émise vers le bas par l'atmosphère, réchauffement.

Pour maintenir l'équilibre, la surface de la Terre doit donc aussi évacuer de la chaleur mécaniquement, par conduction et convection, mouvement vertical de l'air qui transporte de la chaleur prise de la surface.

Associée aux nuages, et à la pluie, cela compte pour 30 % du transfert général de chaleur de la surface, deux

ordres de grandeur au dessus, de l'accroissement de chauffage par le CO₂... (silence d'appui).



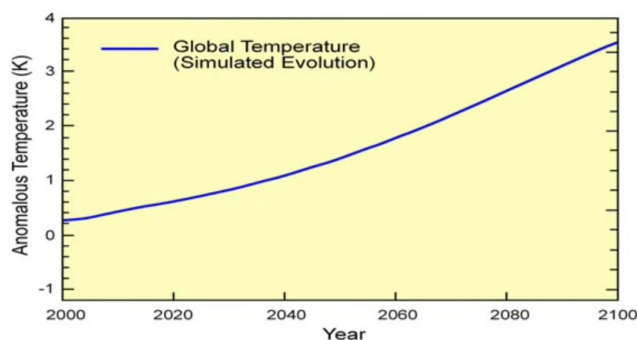
La température globale est la propriété la plus fondamentale du climat, celle sur laquelle les autres reposent. C'est la base du changement climatique. Si quelque chose doit porter la signature d'un accroissement de CO₂, elle le fera. Après tout, les modèles climatiques reproduisent ces réchauffements précédents observés pendant les années 80 et 90.

Cela conduit beaucoup d'entre nous à spéculer : eh bien.. peut-être ils la trouvent...

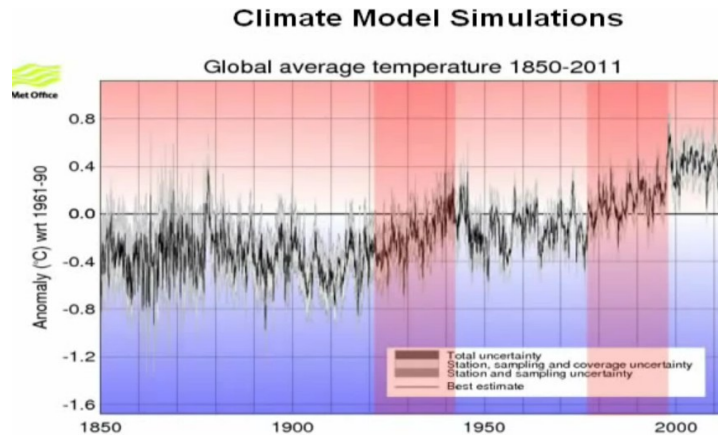
Mais reproduire le changement connu de température après-coup [is 20-20 hindsight] n'est pas un test fort d'habileté de prédiction. Cette expérience est appelée arrière test. Le vrai test est la prédiction, prédire l'évolution future. Seulement alors peut-on avoir confiance que les modèles ont été réglés pour correspondre au comportement observé.

Cela tend vers un test en double aveugle, la rigueur standard qui demande des essais cliniques dans les cercles pharmaceutiques. Maintenant ici est le/la patient-e, là est le modèle, vous être la/le expérimentat/rice/eur, le gars qui fait tourner le modèle, alors là est le résultat.

En bleu est la prévision d'évolution de la température globale moyennée sur deux douzaines modèles par le GIEC.



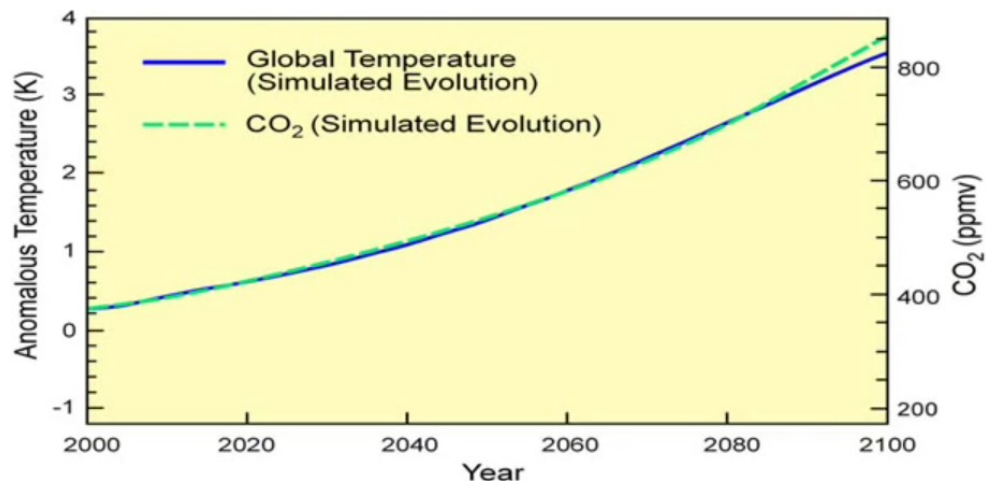
Il n'y a pas de variations décennales de l'évolution moyenne..., qui doivent par conséquent être incohérentes entre les modèles. Il s'en suit qu'à ces échelles de temps, les modèles n'ont pas l'habileté de prédiction. Remarquez, que c'est la même échelle de temps qui est responsable de presque tout le réchauffement du XX^{me} siècle :



Le seul élément commun que les modèles retiennent dans leur moyenne est une dérive centenaire. Elle s'accroît de manière monotone devenant un réchauffement de 3,5°K à la fin du XXI^{ème} siècle.

L'accroissement de la température globale devrait correspondre à l'accroissement de CO₂. En fait elle correspond à considérablement plus.

En vert est la prévision d'évolution de CO₂ :

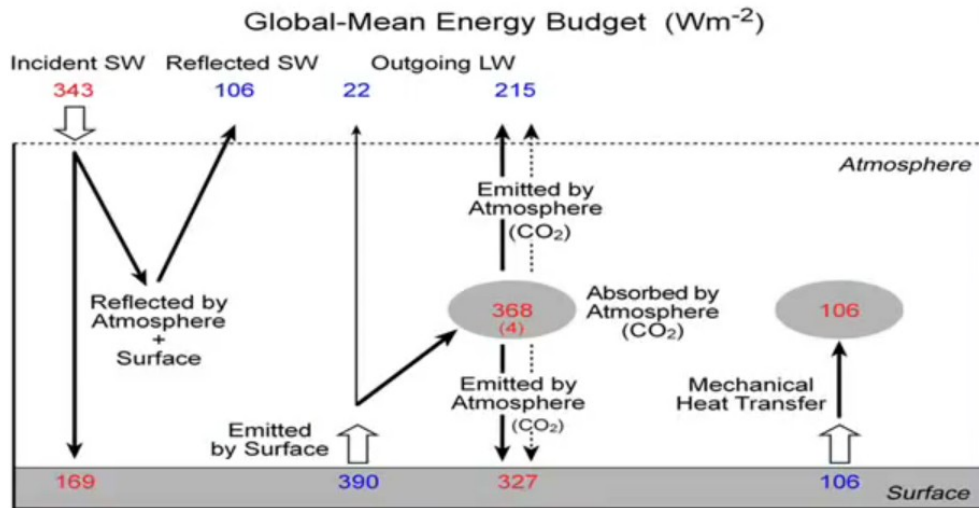


Elle aussi s'accroît, dépassant 800 ppmv à la fin du siècle.

La température globale ne fait pas que s'accroître avec l'accroissement de CO₂, elle suit presque parfaitement le même chemin. Dans les modèles les changements de température globale et CO₂ sont isomorphiques, ils ont exactement la même forme. Leur relation est tellement étroite, vous n'avez même pas besoin de modèles climatiques. L'augmentation d'une fraction de CO₂ détermine entièrement la fraction d'augmentation de la température.

La relation simulée est remarquable. Voilà pourquoi :

Vous vous rappelez le budget global d'énergie. C'est lui qui détermine la température globale.

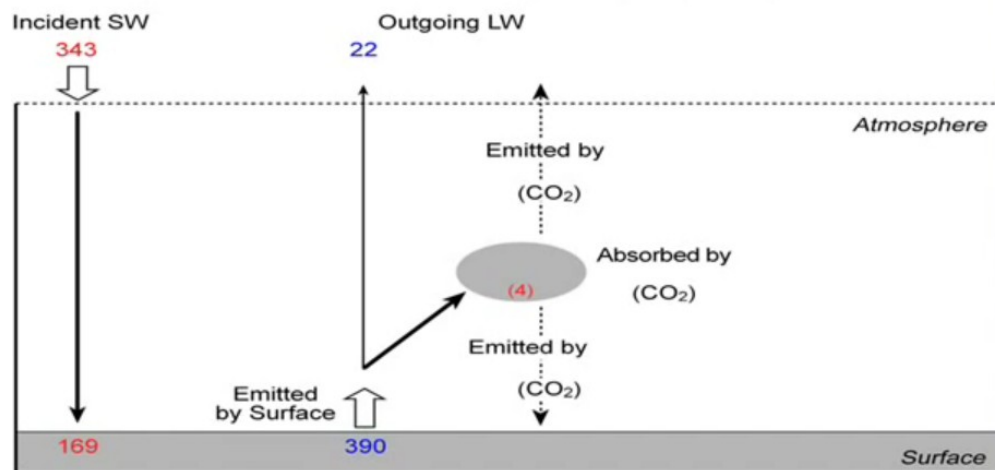


L'accroissement de CO_2 contribue au budget global d'énergie, mais seulement au niveau de 1%.

La correspondance un à un indique que le changement de température globale reste en équilibre avec le changement de CO_2 ..., mais rien d'autre.

Les contributions dominantes au budget d'énergie, soit ne changent pas, ou si elles le font, elles sont esclaves de CO_2 . Ces contributions ne peuvent changer que en proportion directe à CO_2 , qui dans les modèles, contrôle tout.

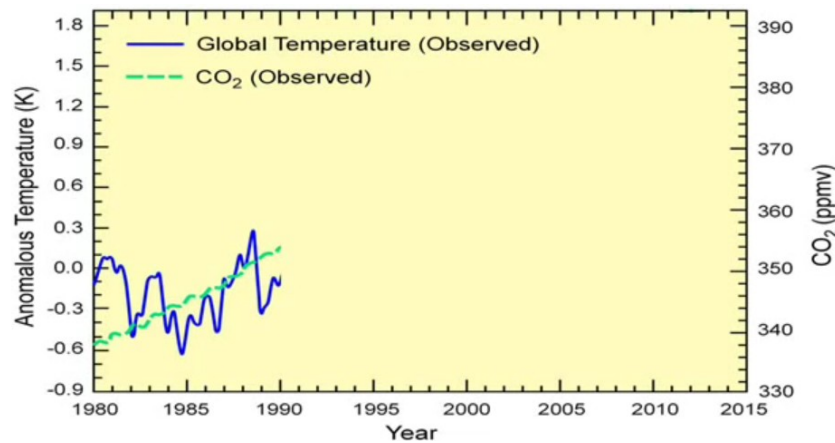
- L'énergie ShortW réfléchi qui dépend des nuages, et la glace, ne peut pas changer indépendamment [il le supprime du schéma].
- Le transfert mécanique de chaleur à partir de la surface de la Terre, qui dépend de la circulation océanique, ne peut pas changer indépendamment [il le supprime du schéma].
- et 99 % de l'énergie des longues longueurs d'onde absorbée par l'atmosphère et réémise vers le bas, vers la surface de la Terre, qui dépend de la vapeur d'eau, et des nuages, ne peut pas changer indépendamment [il le supprime du schéma qui se vide :].



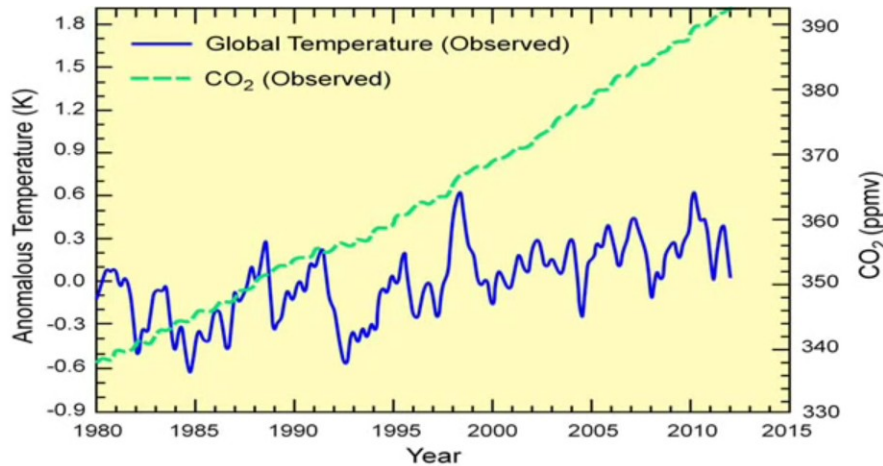
Dans les modèles, c'est la partie qui est consistante dans ces deux douzaines de modèles, les changements dans le budget global d'énergie se réduisent à une balance hautement simplifiée [schéma ci-dessus], dirigée exclusivement par le CO_2 .

Cela veut dire que 1 % du budget global d'énergie, pètit les autres 99 %.

En bleu, est la température globale observée, du satellite MSU. En vert l'enregistrement observé en CO_2 :



L'évolution long terme de la température globale est parallèle au CO₂ pendant les années 80. Il a été mis à échelle pour correspondre à la tendance qui a été obtenue par les modèles du GIEC. Avec l'éruption du Pinatubo en 1992, la correspondance est similaire pendant les années 90. Mais après le El nino 1997, le CO₂ a continué d'augmenter, pas la température globale.



Leur divergence sur la dernière décennie et demi est maintenant sans ambiguïté.

Dans les modèles, la température globale suit le chemin du CO₂ de manière presque parfaite, dans le monde réel clairement non.

Cela amène à la conclusion suivante. Dans les modèles, les changements de CO₂ et de température globale sont liés de près. En fait à un facteur d'échelle près, les deux sont synonymes. Ils sont synonymes pour la même chose. Dans le monde réel, ils ne sont pas liés. Pas tout à fait... La conclusion correcte est qu'ils ne sont pas liés directement comme ils le sont sous la balance d'énergie simplifiée qui est prévalue dans les modèles.

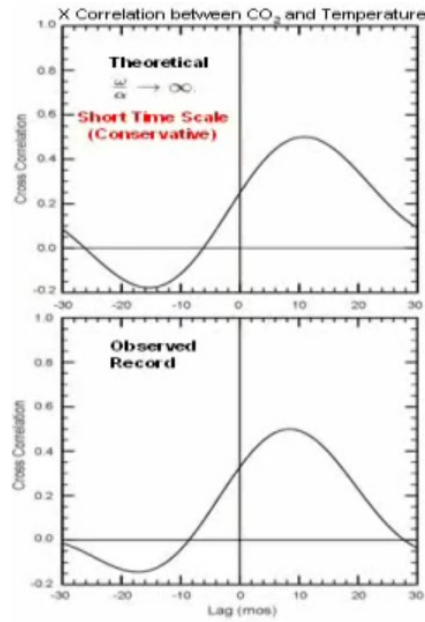
Rappelez vous que sur une échelle de temps plus courte que le siècle, les changements de CO₂ sont conservatifs, contrôlés par les émissions des sources natives.

Comportement limite

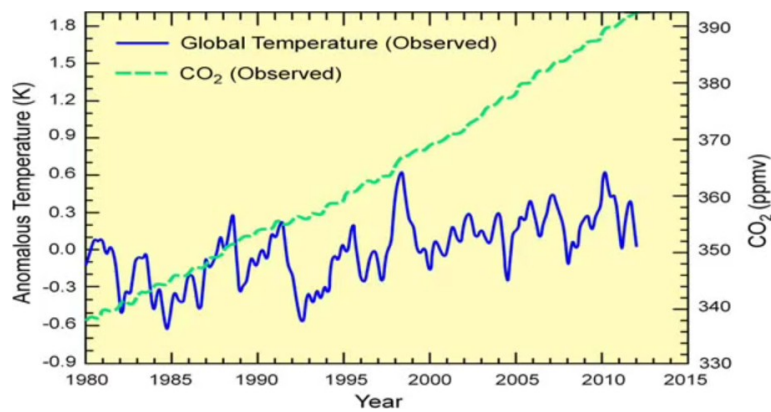
Échelle de temps court : $\frac{\omega}{\alpha} \rightarrow \infty$

Balance limitante $\frac{dr}{dt} = \gamma T$ r, taux de croissance : sans limite

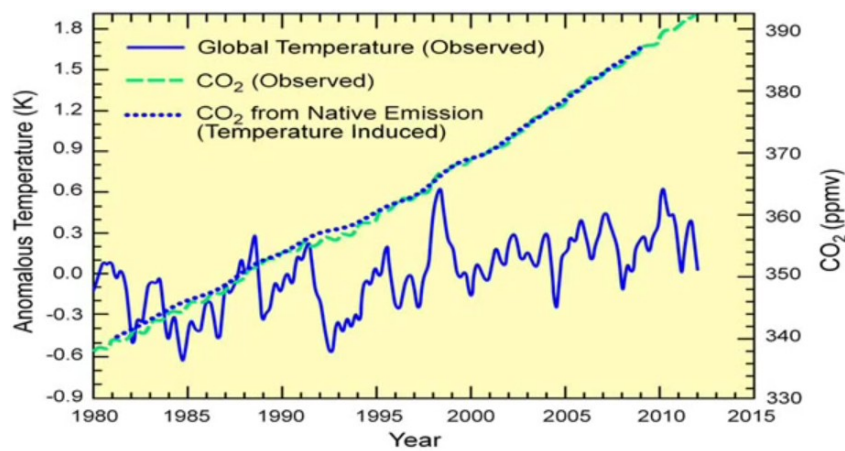
Phase limitante $\varphi_{\tau r}(\omega) \approx -\frac{\pi}{2}$ en quadrature (conservatif)



Le CO2 alors évolue, pas comme la température comme il le fait dans les modèles, mais comme l'intégrale de la température....



En pointillé en bleu, est l'intégrale de la température observée :



Elle suit de près le CO2 observé, même après les années 90, quand le CO2 et la température observés divergent clairement.

Si le CO2 suit l'intégrale de la température ce qu'il fait clairement, alors il ne peut pas suivre la température, ce qu'il ne fait visiblement pas.

Dans les modèles, CO2 et la température globale sont reliés directement. Dans le réel, ils sont aussi reliés... mais de manière différente.

La relation distinctement différente entre le CO2 et la température globale représente une différence fondamentale dans la balance globale d'énergie, entre son évolution dans le monde des modèles..., et le monde réel.

Si la balance globale d'énergie est fautive, tout le reste est de l'habillage... (silence d'appui)

La relation différente entre le CO2 et la température globale devient manifeste après les années 90, quand leurs enregistrements observés divergent. Mais une fois qu'on a pris en compte la dépendance à la température des émissions de CO2, nommément par les sources natives, les deux enregistrements observés sont tout à fait en cohérence.

Ces caractéristiques des évolutions observées ont les deux implications [...mot ?] suivantes :

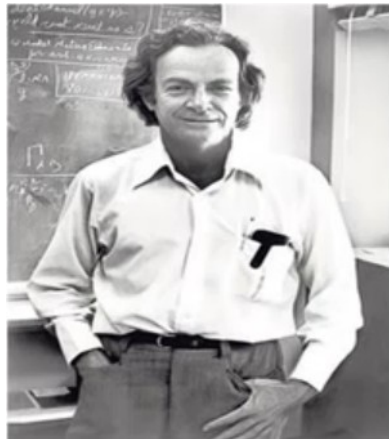
- Dans le monde réel, la température globale n'est pas contrôlée exclusivement par le CO2, pas même sur les échelles de temps long, comme cela l'est dans le monde des modèles,
- en partie significative, cependant, le CO2 est contrôlé par la température globale, comme ça l'est dans l'enregistrement proxi.

Je termine avec une rétrospective de signification générale,

« La science est dite »

Combien de fois avez-vous entendu ça ?

Mike Richard Feynman,



Feynman (1974)

décrit comme le plus grand esprit depuis Einstein. J'ai eu l'occasion de rencontrer Feynman pendant mon temps court à CalTech [Pasadena, à côté Los Angeles] et c'est à ce moment qu'il a fait son exposé sur l'attitude dans lequel il a parlé de la science, de la pseudoscience et de comment ne pas vous fourvoyer. Il a remarqué, « on peut être facilement déçu en se référant à l'autorité de supposés experts ». Feynman a développé un paradigme qu'il a caractérisé comme « la science du culte ». Feynman a aussi discuté de « La clé pour la science », des audiences différentes mais la même chose, voilà un exemple [dont un enregistrement historique [là](#)]

Maintenant je vais décrire comment vous feriez pour découvrir une nouvelle loi physique. On la fait avec le processus qui suit. D'abord on devine. L'audience fait du bruit en riant. Non, ne riez pas, c'est vrai. Puis on établit un calcul, pour voir qu'elles sont les implications de la supposition, puis on compare le résultat, directement avec les observations. Si ça n'est pas en accord, c'est faux.

Et ce plaidoyer est la clé de la science. Peu importe la beauté de votre supposition, peu importe qui a fait la supposition, ou quel est son nom, si ça n'est pas en accord avec l'observation, c'est faux. Et c'est tout. »

~ fin ~

Dans cet autre exposé i à Londres en mars 2015, il parle notamment du le temps de rétention du CO2 dans l'atmosphère incomparablement plus court que ce qui est retenu dans les modèles climatiques des gros labos derrière le GIEC :

<https://www.youtube.com/watch?v=jZ0R1MckSOU>