

Temps de résidence du gaz carbonique dans l'atmosphère

Introduction

Est-il bien pertinent de se pencher sur cette grandeur? Il existe, certes, nombre d'arguments plus importants susceptibles de disculper le gaz carbonique. Mais les partisans du GIEC, finissent toujours par s'esquiver, en disant que tout est pris en compte dans leurs puissants logiciels «General Circulation Models» ou GCM_s qui sont ce qu'on peut faire de mieux aujourd'hui et qui prévoient une augmentation de 4 à 6 °C en 2100 d'où il découle une série de catastrophes. D'après eux, ces logiciels sont tellement importants et complets qu'on ne peut pas prétendre présenter complètement ni comprendre toutes les subtilités des phénomènes et des équations complexes et compliquées prises en compte qui sont de plus couplées etc. Il est donc inconvenant de les critiquer à moins d'être climatologue et spécialiste de ces logiciels.

Admettons pour ce papier, cette attitude, sommes toutes, défensive, il reste que ces logiciels ont besoin, en données d'entrée, de la teneur en CO₂ dans l'air qui dépend de la durée de vie (ou si on préfère du temps de séjour ou temps de résidence) de ce gaz dans ce réservoir qu'est l'atmosphère.

Or le phénomène de durée de vie est un phénomène qui n'est ni spécifiquement météorologique, ni climatique. Il intervient dans de nombreuses disciplines, en hydraulique et en biologie, dans le nucléaire aussi bien en radioactivité que dans le fonctionnement des réacteurs. Il est à la portée de n'importe quelle personne disposant d'une formation de physicien ou de mathématicien et il ne peut être reproché, alors à quelqu'un qui, en particulier, a travaillé très longtemps dans ces deux derniers domaines [1], de ne pas être climatologue patenté.

Temps de Résidence du Carbone dans l'atmosphère

Rappel : Il ne faut pas confondre ce qu'on appelle temps de résidence ou temps de vie moyen avec le temps de disparition totale. Les phénomènes d'accumulation accompagné d'évacuation de gaz ou de liquide ou les problèmes de renouvellement de réservoir ou de volume quelconque pour lesquels le taux de disparition est proportionnel à la quantité présente, ne sont pas régis par des lois linéaires mais par des lois exponentielles. Dans ce dernier cas, la disparition totale n'est atteinte en théorie que pour un temps infini.

*Dans ce type de problème donc équivalent à celui de la décroissance radioactive, on parle de temps de résidence moyen ou de durée de vie **moyenne** (d'un nuclide ici ce sera d'une molécule) τ qui correspond à la constante de temps λ tel que $\tau=1/\lambda$. La disparition est alors donnée par l'exponentielle $e^{-t/\tau}$ ou $e^{-\lambda t}$. ¹C'est ce temps τ qui est la référence et qui est toujours utilisé ici. On voit chez certaines personnes peu habituées avec cette notion, une certaine confusion.*

¹ La période ou demi-vie T plus connue, utilisée et montrée, est alors égale à $\ln 2/\lambda$ soit $0.693/\lambda$.

Malgré l'incertitude qui existe sur les flux naturels ce qui compte pour la détermination du temps de résidence moyen ($T_R = \tau$) du CO_2 , est le flux d'échange global atmosphère «photosynthèse +océan» qui détermine le taux de disparition. Que ce total soit de 120, 150 ou de plus de 200 Gt de C par an a finalement peu d'importance car la valeur de T_R restent de l'ordre de quelques années (entre 4 et 6 ans et la valeur de 4 ans correspond aux chiffres de la figure 1 de l'AR5!).

Mais le GIEC et les scientifiques qui le soutiennent annoncent que le T_R du seul CO_2 anthropique est voisin de 100 ans. Ainsi M Guiot du Cérège a déclaré dans une conférence récente «Quand on dit que le Carbone reste **un siècle** dans l'atmosphère, cela ne veut pas dire qu'il (y) reste indéfiniment, il «échange avec l'océan..**C'est ce qu'on ajoute de CO_2 qui reste dans l'atmosphère.**». Et voici ce que m'avait répondu F.M. Bréon, du Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement et contributeur du rapport du GIEC, sur le même sujet: *«J'ai un peu la flemme de vous expliquer le cycle du Carbone qui, je vous le répète, est bien compris... En très résumé et avec des chiffres approximatifs, océan et végétation ont des échanges avec l'atmosphère presque équilibrés, de presque 100 GtC/an. L'humain met 10 GtC/an dans l'atmosphère. Cette injection crée un déséquilibre qui fait que l'océan et la végétation vont avoir tendance à pomper un peu plus qu'ils ne rejettent. Du coup, on a un temps de mélange entre atmosphère et océan qui est typiquement de 800 (GtC) /150 (GtC/an) soit environ 6 ans. Mais, on ne s'intéresse pas au temps de mélange, mais au temps qu'il faudra à une **perturbation** (les 10 GtC émis en un an) à disparaître de l'atmosphère. Même si les échanges naturels sont grands, ils sont presque équilibrés, et la perturbation ne va pas être absorbée. Les constantes de temps qui sont donnés dans les rapports du GIEC portent sur le temps de vie d'une perturbation injectée dans l'atmosphère. Ce n'est pas la même chose que le temps de mélange. Pouvez-vous comprendre ça?»* Si vous ne pouvez pas, la réponse que m'a faite J Treiner de Sauvons Le Climat, puisse-t-elle vous éclairée : *«Vous prétendez que la durée de vie du CO_2 dans l'atmosphère est inférieure à 10 ans. Pour cela, vous faites le rapport stock/flux du CO_2 . Avec un stock de l'ordre de 800 Gt et un flux (respiration des plantes + échange océan de surface/atmosphère), c'est bien ce qu'on obtient. Mais faire le rapport stock/flux pour estimer le temps de résidence n'est valable que pour un équilibre donné, et donc il faut savoir de quel équilibre on parle. Les 4 à 5 Gt qui s'accumulent dans l'atmosphère font justement sortir le système de l'équilibre ci-dessus. La durée de vie de ce CO_2 fait alors intervenir les échanges océan de surface/océan profond, et c'est là l'origine des temps de résidence beaucoup plus longs, au-delà du siècle.»*

Ces réponses traduisent les options prises dans les rapports du GIEC et ont bien sûr cours aussi à l'étranger. L'Université du Colorado (Boulder), par exemple, donne un temps de résidence du CO_2 dans l'atmosphère de 3 ans mais il ajoute plus loin: *«Notes on residence times **Big issue**...Because reservoirs are interconnected, short residence times are underestimates. Imagine if we clean up the atmosphere... the reservoirs with longer residence times, like the ocean, will give carbon back to the atmosphere. Thus, the atmospheric residence time is more like 100 years.»*

On finit donc bien dans l'esprit de tous ces messieurs à considérer qu'il y a un T_R pour le gaz carbonique naturel et un T_R pour le gaz carbonique provenant d'une **perturbation** (d'autre parle de pulse ou d'impulsion) puisque c'est ainsi qu'ils appellent une injection continue de plusieurs milliards de tonnes par an.

En fait tout ce qui précède relève du discours et ne repose sur rien de physique. Ce discours est flou, embrouillé mais surtout il se trouve en contradiction avec un certain nombre de faits et observations rappelées ci-dessous dont la justification est donnée en Annexe.

1. L'augmentation de la $[\text{CO}_2]$ dans l'atmosphère constatée depuis 1850 est de 250 Gt (120 ppm) soit moins que la quantité injectée.
2. Le système «naturel» CO_2 /atmosphère/biosphère n'est pas à l'équilibre, ni localement ni temporellement.
3. Les variations de température précèdent les variations de concentration de gaz carbonique même que ce soit avant ou pendant la période industrielle.
4. Des observations fiables par satellite depuis 1978 permettent d'écrire que l'augmentation de la teneur en gaz carbonique de l'atmosphère dépend fortement de la température. Il en résulte qu'une part importante de l'augmentation récente a une autre origine que les rejets anthropique.
5. Le rejet anthropique est un phénomène continu et croissant. Il est de plus faible au début et croît ensuite lentement. En aucun cas, on peut le caractériser par des termes comme impulsion, pic ou perturbation surtout quand on le compare aux autres origines du CO_2 (par exemple les variations saisonnières). Cette source s'ajoute simplement à celles que constituent le dégazage des océans et la respiration des plantes.
6. Il existe des déterminations (35) de la durée de vie moyenne du Carbone et donc du CO_2 dans l'atmosphère. Elles sont basées sur des méthodes différentes (Suess effect), le Rn 222 , solubilité, et bien sur le $^{13}\text{CO}_2$ comme $^{14}\text{CO}_2$ (naturel ou bombe) servent de marqueur. Les valeurs trouvées varient de deux ans à 13 ans. La moyenne des 35 déterminations indépendantes est de 7 ans très loin des 100 ans du GIEC.

Pour en revenir aux assertions des défenseurs de temps de résidence très différents en fonction des origines du gaz pourtant « normal » qu'est le CO_2 , on se demande comment le système peut faire le distinguo entre le gaz carbonique naturel et le gaz provenant des rejets d'autant qu'il y a mélange et cela d'autant plus vite qu'on est dans les couches basse de l'atmosphère ou se passe les échanges avec la biosphère et les océans. Pourquoi, si c'est la perturbation qui est importante, cette «loi» ne s'applique pas pour les rejets de CO_2 d'origine volcanique ou pour ceux de la photosynthèse printanière? Et quand, pour reprendre l'explication de l'Université du Colorado, on objecte que la vapeur d'eau est le principal GES avec de nombreuses fluctuations, il est répondu que ce n'est pas pareil car la vapeur d'eau a un T_R très court (quelle logique). Imaginez un instant que vous nettoyez l'atmosphère de la vapeur d'eau, que va faire l'océan juste après?

On oublie aussi une chose c'est que l'effet de serre radiatif tel qu'il est défendu par le GIEC ne dépend que de la masse de GES contenu de l'atmosphère : avant qu'il y ait saturation, l'absorption des Rayonnement infrarouge terrestre dépend du nombre de molécules de GES rencontré entre la surface et TOA. Dans ces conditions quel est l'impact réel d'une émission qu'elle soit impulsionnelle ou continue ? C'est tout simplement d'augmenter ce nombre de molécules dans l'atmosphère qui se mélange sous l'effet des diffusions, convections de toutes sortes. De plus, ce mélange se fait d'autant plus vite qu'on est dans les couches basses de l'atmosphère ou se passe les échanges avec la biosphère et les océans. Cette ou ces émissions vont augmenter la teneur en Gaz Carbonique de l'atmosphère. S'il s'agit d'une émission transitoire, « impulsionnelle » comme celle d'un volcan, le pic créé va

disparaître au rythme imposé par les puits et si cette augmentation n'a pas d'effet sur les puits, ce qui est vrai en première approximation, ce sera donc pour nous au rythme correspondant à la durée de vie **moyenne** du gaz soit pour nous entre 5 à 6 ans.

Sur quelle base en effet, les puits pourraient-ils distinguer le CO₂ provenant de l'impulsion des autres sources ? Personne ne nous explique par quel mécanisme physique, on peut avoir en même temps deux T_R très différents pour le même gaz. Quand on pose la question, on se contente de répondre que le comportement du CO₂ dépend de son origine-on tourne en rond.

Or entre le gaz carbonique naturel et le gaz provenant des rejets, il n'y a qu'une différence de poids entre le même volume de CO₂ de ces deux origines de l'ordre de 5 millièmes. Le carbone 12 est le principal constituant du carbone de l'atmosphère à environ 98.9% tandis que la teneur en carbone 13 « naturel » se trouve en proportion de 1.103 % contre 1.083 % pour le CO₂ anthropique. Certes les plantes peuvent distinguer leur différence de masse et préfèrent le ¹²CO₂ au ¹³CO₂ mais rien ne leur dit que le ¹²CO₂ ou même le ¹³CO₂ provient de telles ou telle source. En particulier le ¹³C est parfois considéré comme ne provenant que des émissions naturelles. Les proportions ci-dessus montrent que c'est totalement faux.

Conclusion, bien que ce soit extravagant, tous considèrent bien (à tort), in fine, que le CO₂ anthropique a un T_R dans l'atmosphère différent du CO₂ naturel! Pour tenter de comprendre les raisons qui ont pu les amener à cette affirmation, il est nécessaire d'écrire les équations correspondant aux différentes approches, en même temps qu'on décrit le phénomène :

Modèle analytique pB

D'un point de vue physique, les rejets anthropiques ne viennent que s'ajouter à la source, c'est-à-dire aux taux de rejet global. Le problème correspond en gros à un problème de baignoire à plusieurs robinets et évacuations ou plus précisément à un réservoir dans le quel plusieurs robinets amènent un fluide avec des caractéristiques un tout petit peu différentes et plusieurs prises ouvertes vers l'extérieur ou vers une boucle de recirculation via ou non des bacs de rétention évacuent le fluide du gros réservoir. Circuit un peu compliqué certes mais les équations qui le régissent sont relativement simples et ne nécessitent pas de gros

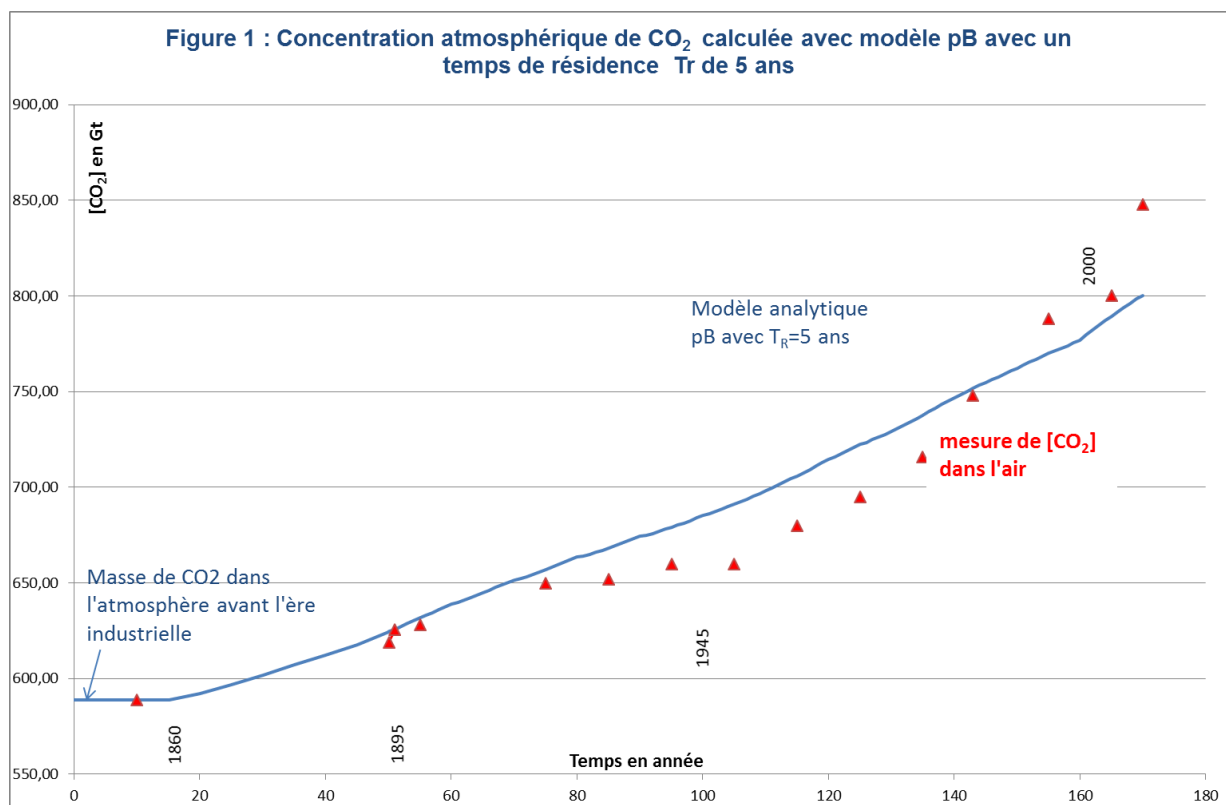
logiciel de calcul. On a avant l'ère industrielle :
$$\frac{dm}{dt} = R_o + R_v - \lambda m = R_o + R_v - m/\tau$$
 avec m masse de Carbone C dans l'atmosphère, R_o émission de C d'origine océanique, R_v émission de C par la végétation, λ constante de disparition ou inverse du temps de séjour moyen τ du CO₂ dans l'atmosphère. En posant R=R_o+R_v émission naturelle de C, il vient à **l'équilibre** c'est-à-dire quand toutes les émissions vers l'atmosphère sont exactement égales aux absorptions par l'océan et la végétation, $m=R/\lambda= R\tau$, l'équation complète étant donnée par
$$m = R/\lambda(1-\exp(-\lambda t)) + m \cdot \exp(-\lambda t)$$
 ou avec la durée de vie moyenne $\tau=1/\lambda$
$$m = R\tau(1-\exp(-t/\tau)) + m \cdot \exp(-t/\tau)$$

Après le début de l'ère industrielle, l'équation devient $dm/dt=R+r'-\lambda m$ ou r' est l'émission anthropique.

On a alors $m = (R+r')/\lambda(1-\exp(-\lambda t)) + m_0 \cdot \exp(-\lambda t)$ ou $m = (R+r')\tau(1-\exp(-t/\tau)) + m \cdot \exp(-t/\tau)$ qui après un temps suffisant (nouvel équilibre) se réduira à $(R+r')\tau$.

Mais on l'a vu r' n'est pas constant, on l'a donc approximé par une succession de périodes r'_i pendant lesquelles l'émission anthropiques reste constante, des fonctions rectangles des émissions en quelque sorte.

On considère également que R augmente avec le temps selon une loi linéaire (at) ce qui est en accord avec l'équation déduite des observations depuis 1958 que nous avons supposé vraie depuis 1850 ce qui n'est sans doute pas tout à fait exact au moins au niveau des



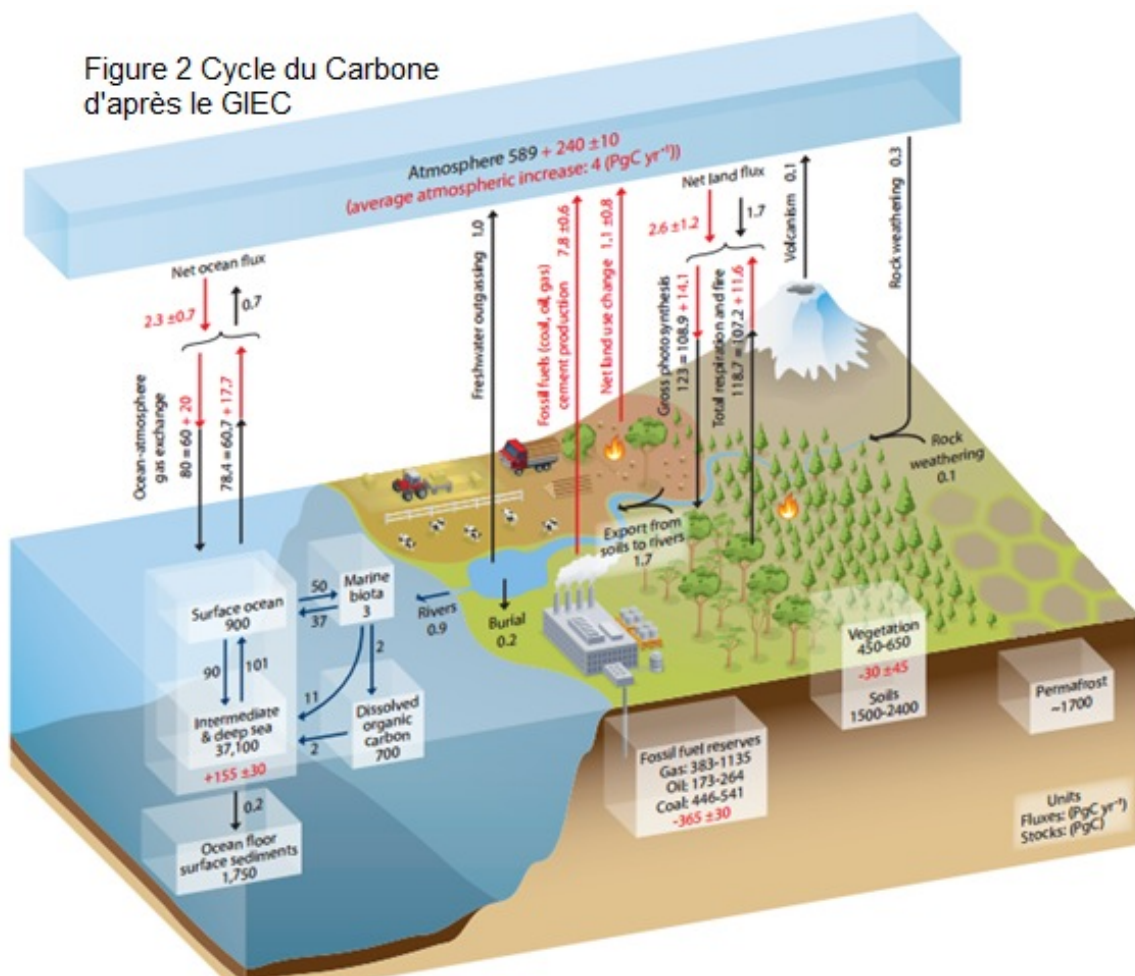
coefficients (voir annexe § « Croissance du [CO₂] avec la température »).

Pour $i=i+1$ on aura donc $m_{i+1} = (R(t)+r'_{i+1})\tau(1-\exp(-t/\tau)) + m_i \cdot \exp(-t/\tau)$. C'est le résultat de ce modèle simple (baptisé pB) qui est représenté sur la figure 1 en bleu (avant l'ère industrielle) et en rouge à partir du début des émissions de CO₂ anthropique avec les données d'entrées données en Annexe (§ Données utilisées dans le modèle pB).

On peut alors voir sur la figure 1 que le modèle simple et simplifié mais néanmoins analytique conduit à une évolution de la concentration de CO₂ dans l'air voisine de celle observée. Bien entendu un tel accord ne prouve pas que ce modèle soit forcément le seul bon. Remarquons cependant que la variable la plus incertaine est celle correspondant au rejet naturel $R(t)=R_0+at$ qui n'est pas totalement ajusté pour coller à l'observation (voir annexe). Il s'agit donc d'un modèle simplifié possible basé sur les lois physiques et des données d'entrée observées et il ne peut être écarté d'un revers de manche.

Modèle « impulsional » basé sur les hypothèses du GIEC.

La figure 2 qui est la reproduction de la figure 6.1 de la page 471 du rapport WG1-AR5 du GIEC donne le schéma simplifié du cycle global du carbone. Les nombres représentent les masses en PgC (1PgC= 1GtC=10¹² kg) des réservoirs et des flux de carbone annuels échangés avec en noir les flèches et les masses concernant le cycle du CO₂ naturel dont le GIEC admet un temps de vie de 5 à 6 ans. Et en rouge celles concernant les émissions anthropiques depuis 1850. Il est clair d'après cette figure que le GIEC attribue toute l'augmentation de la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère aux émissions anthropiques évaluées à 375 Gt entre 1850 et 2011.



Cela revient à considérer

1. que les émissions et absorption de CO₂ naturels (l'équilibre) n'est absolument pas impacté par la température de surface de la terre et des océans ni par la couverture des glaciers!! Ce que même le bon sens a du mal à admettre et ce que les données de longue durée provenant des carottes glaciaires ou autres proxys réfutent.
2. La différence entre l'augmentation constatée (240) et la quantité émise de CO₂ anthropique (375) n'est guère compatible avec un Tr d'environ 100 ans ; pourtant, le GIEC continue à le prétendre ce que confirmait M. Hervé Le

Treut dans Le Figaro du 28 novembre 2011 " *...par exemple la moitié environ du dioxyde de carbone injecté dans l'atmosphère à un moment donné y est encore présente un siècle plus tard !*

Il faut donc en venir aux justifications données par le GIEC.

Pourquoi, en particulier, considérer que le rejet anthropique de CO₂ correspond à une perturbation ou une impulsion pic, pulse ou autres transitoires alors que c'est un phénomène continu, faible au début et croissant alors que ce n'est pas le cas des variations saisonnières dues à la respiration des plantes, des rejets des volcans et autres phénomènes géologiques, des processus d'upwelling, des explosions atomiques atmosphériques. Pour eux, pourtant, il n'est pas question de traitement spécial, bizarre vous avez dit bizarre !

Le rejet anthropiques et le dégazage de l'océan comme la respiration des plantes sont des phénomènes continus avec chacun des variations locales et temporelles plus ou moins importantes. Aucune raison donc de les distinguer des rejets anthropiques qui ne font qu'augmenter le terme source (de 10 GT/an aujourd'hui).

Les justifications avancées restent confuses, embrouillées et ce n'est pas la formule de Berne qui apporte plus de clarté. La meilleure explication que j'ai trouvé de leur approche est donné par Jean-Louis Pineaut [2] dans l'article CO₂-anthropique de son site climatorealiste.com : la concentration en dioxyde de carbone provenant d'une impulsion est maintenue durant le temps N' de la «réponse impulsionnelle» ainsi que l'équation donnée dans l'article le confirme. Après, l'effet de cette première impulsion disparaît et on repart à zéro avec une nouvelle impulsion. On simule le rejet par une fonction rectangulaire $rec(t)$ (qu'on baptise impulsion ou perturbation : par exemple *les 10 GtC émis en un an de Bréon*) d'une durée N', arbitraire. On recommence avec une nouvelle fonction rectangle pour la période N' suivante jusqu'à couvrir tout la durée d'observation. On fait cette opération en faisant varier N' et la valeur de N' qui se rapproche le plus de ce qui a été mesuré. Comparons maintenant les deux méthodes, celle dite «impulsionnelle» avec celle classique (analytique) exposée plus haut.

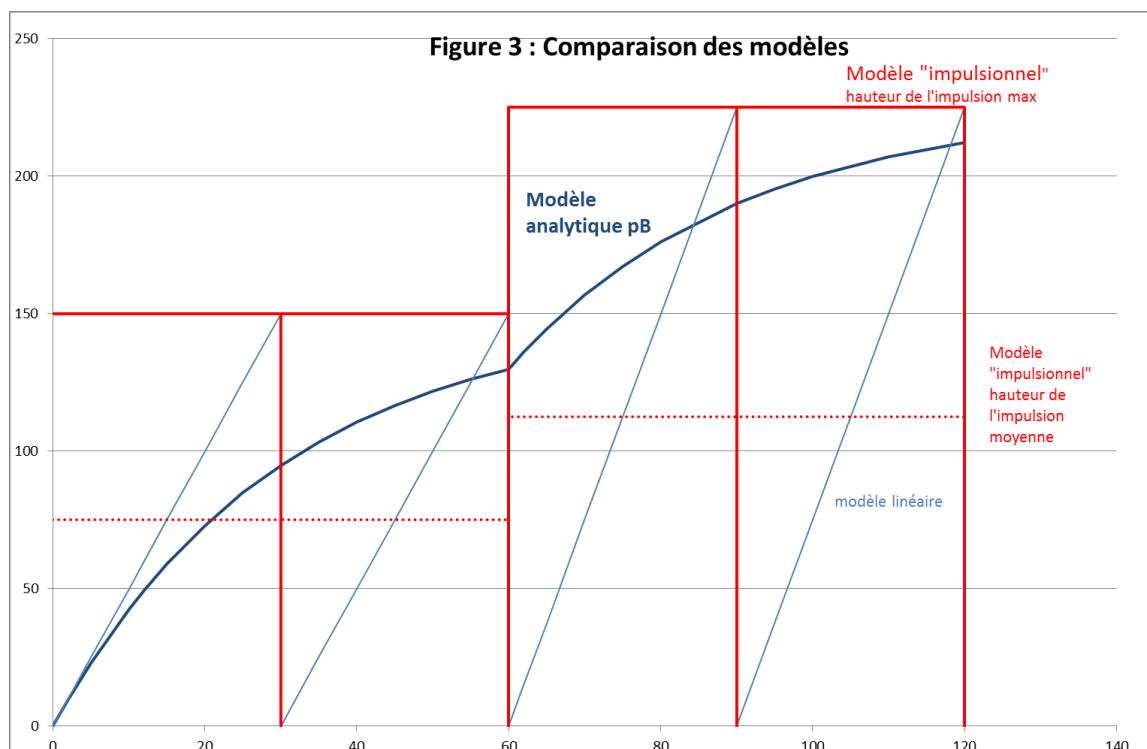
Si $rec_i(t)$ est une impulsion de durée N' , on a $m_{i+1}=(R+rec_i(t))N'$ et si on ne s'attache qu'aux augmentations « impulsionnelle » $\Delta m_{i+1}=rec_i(t)N'$.

Avec la méthode analytique, la concentration est donné par

$m_{i+1}=(R+r'_{i+1})\tau(1-\exp(-t/\tau))+ m_i.\exp(-t/\tau)$ et $\Delta m_{i+1}= r'_{i+1}\tau(1-\exp(-t/\tau))+ m_i.\exp(-t/\tau)$, expression plus compliquée puisque le deuxième terme n'existe pas dans l'approche dite impulsionnelle. Mais (sauf en début de vie si on part de zéro ou si $rec_i(t)$ et $rec_{i+1}(t)$ sont très différents l'un de l'autre) les masses calculées des deux façons seront assez proches dans le cas où $N'=\tau$ comme le montre la figure 3 où les deux modèles sont appliqués avec les mêmes données pour déterminer l'apport supplémentaire correspondant au rejet anthropique.

Dans l'approche dite «impulsionnelle» on discrétise donc le problème par une fonction rectangle et l'écart entre les deux approches dépendra de la hauteur de l'impulsion $rect(t)$ choisie. Si, comme cela semble être l'hypothèse adoptée, $rect_i(t)$ est égale à la valeur maximale sur le pas correspondant (c'est-à-dire si $rect(t)= r'N'$) alors le modèle impulsionnel sera majorant comme on peut le voir sur la figure 3 : La principale différence vient de ce que dans la fonction rectangle, l'apport anthropique sera égal $rec(t)N'$ égal aussi donc à $r'\tau$ pendant toute "l'impulsion" c'est à dire pendant toute la durée N' alors que à partir des équations exponentielles, l'apport anthropique sera progressif et n'atteindra la même limite à $r'\tau$ à l'équilibre soit que pour $t \gg \tau$. Il en résulte une différence numérique entre les deux approches. On peut cependant assimiler les variables $rec(t)$ et r' ainsi que N' et τ et donc prendre $rec(t)=r'$ et $N'=\tau$.

Le modèle impulsionnel n'est donc qu'une approximation de la réalité et les deux démarches employées pour résoudre le problème sont finalement similaires. Rien de fondamental ne les distingue et on ne voit pas apparaître de caractère particulièrement impulsionnel nécessitant d'introduire un comportement particulier du CO_2 anthropique.



Comme les deux approches ne présentent pas de différence sur le fond mais uniquement sur la précision, il n'y a pas de raison de continuer avec cette approche que l'on sait maintenant, baptisée à tort d'impulsionnelle.

Le modèle analytique en revanche même s'il peut être amélioré ou complété décrit les phénomènes, repose sur des bases physiques et est cohérent.

En particulier, il met en évidence que le rejet anthropique même s'il varie dans le temps ne peut être qualifié de transitoire. Il apparaît simplement à un instant t_0+t dans le cours des événements ce qui détruit effectivement les valeurs antérieures d'équilibre comme le font les variations temporelles des autres sources ; les phénomènes et leurs équations restent du même type et un nouvel équilibre est assez vite retrouvé si la fluctuation reste constante suffisamment longtemps.

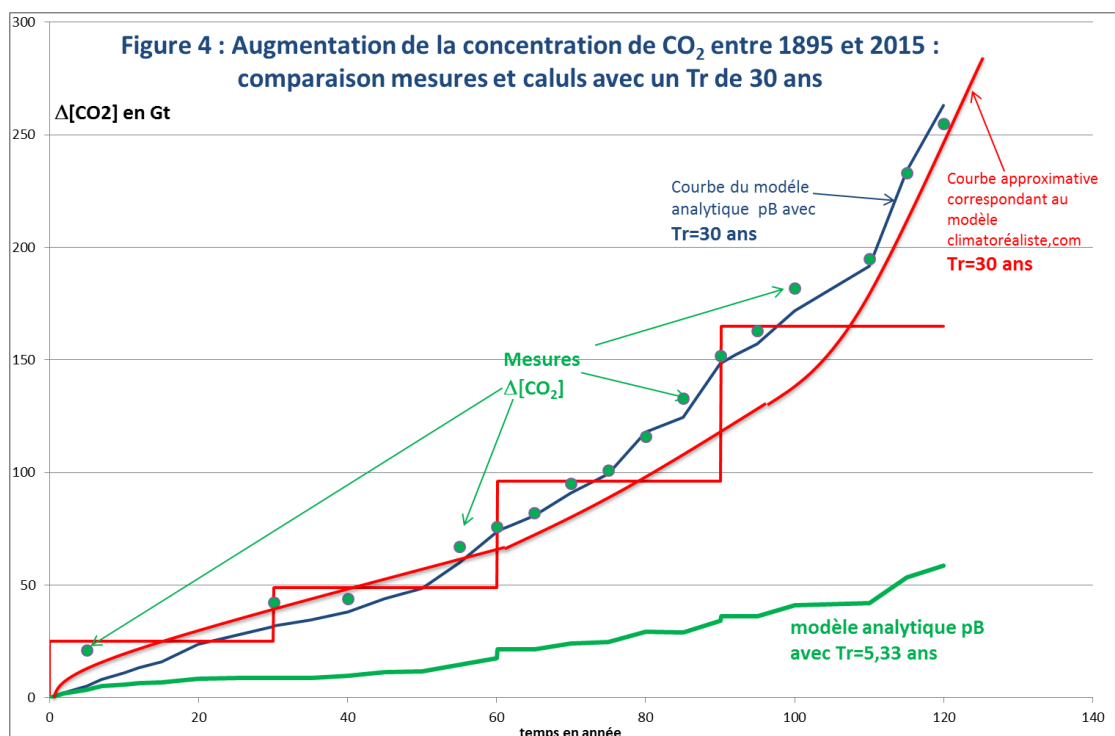
De plus, la constante de temps des équations, c'est-à-dire la durée de vie, est une donnée externe, déterminée de manière indépendante et basée sur le taux de disparition physique du gaz de l'atmosphère et confirmée par des mesures et déterminations directes. Il serait non physique et totalement arbitraire de faire varier cette grandeur au-delà des imprécisions inhérentes aux déterminations et connaissances du système soit au-delà de 5 à 6 ans (à la rigueur de 4 à 7 ans).

Enfin, il reproduit la réalité comme le montre la figure 1 (compte tenu des incertitudes sur les données d'entrée utilisée).

Comment alors comprendre que soient proposés des temps de vie différents allant de 5 ans à 30 et plus pour le GIEC ?

Sur la figure 4, nous avons tenté de simuler au mieux, l'augmentation de la concentration de CO_2 dû au rejet anthropique. Il est clair d'après cette figure que

1. prendre pour la durée de vie τ , une valeur comprise entre 5 et 6 ans ne suffit pas pour expliquer l'augmentation de concentration de CO_2 observée depuis le début de l'ère industrielle.



2. En revanche, prendre pour T_R donc pour N' ou pour τ , 30 ans, conduit à des résultats

similaires des deux modèles et le modèle « analytique » pB se trouve même être en meilleur accord avec les valeurs mesurées. Inutile donc d'aller chercher des explications basées sur le caractère impulsif du rejet anthropique et une modélisation adaptée. L'accord (dans les deux cas), vient du fait que l'on « force » la durée **d'impulsion** N' ou la durée de vie τ à prendre une valeur qui s'accorde, avec la simulation faite, à ce qui a été observé.

Comme nous l'avons déjà dit au sujet de la figure 1, avoir un accord entre prévisions et mesures n'est pas une condition suffisante et ne constitue pas une démonstration. En revanche, forcer une constante à prendre la valeur qui nous arrange est, en général, un jeu risqué en physique comme le montre plusieurs exemples célèbres. Ici particulièrement, cet ajustement empirique ressemble à un réglage de potentiomètres que l'on fait tourner jusqu'à ce qu'on trouve la valeur qui plaise. Remarquons d'ailleurs que le GIEC qui prend pour référence, le CO₂ rejeté et non l'augmentation de concentration dans l'atmosphère, annonce une durée de vie voisine de 100 ans. Mais surtout, cette détermination n'a aucune valeur s'il existe plusieurs potentiomètres et qu'on décide arbitrairement d'en actionner qu'un seul. L'insuffisance constatée en 1), lorsque $T_r=5.4$ ans peut révéler simplement d'un point de vue logique, qu'il existe une autre source de CO₂ non prise en compte dans ce calcul. Et c'est bien le cas ici : nous l'avons déjà dit, il n'est pas réaliste de penser que les émissions naturelles de CO₂ restent constantes quelque soient les conditions climatiques surtout à la sortie d'une période glaciaire. De plus comme cela a été démontré indépendamment et par des voies différentes par plusieurs auteurs (voir annexe), la croissance des teneurs en dioxyde de carbone dépend de la température selon une loi du type $d[CO_2]/dt = a(T(t)-T_0)$ alors que le rejet anthropique est lui indépendant de la température. Il en découle que cette croissance provient à grande partie de l'effet naturel du dégazage des sols et des océans.

Or que ce soit par le GIEC ou les autres auteurs défendant la même ligne et que ce soit dit ou non, il est posé et simplement affirmé, que le rejet anthropique est le **seul** responsable de l'augmentation de la concentration de CO₂. Outre que la seule source nouvelle considérée est le rejet anthropique et qu'il est «interdit» d'ajouter une autre origine à l'augmentation de CO₂, on ne peut arguer d'un accord pour conclure que l'origine de toute l'augmentation de CO₂ est anthropique: on est alors devant une tautologie et non une démonstration.

Et si l'origine de l'augmentation de CO₂ n'est pas unique, la valeur de la «constante» que l'on a fait varier pour s'accorder à l'observation ne peut plus être attribué au seul CO₂ anthropique et n'a donc plus de signification.

Pour être valable donc, la méthode «impulsionnelle» aurait dû commencer par démontrer que la source de l'augmentation ne pouvait être qu'unique et liée au seul rejet anthropique. Comme c'est impossible, on se contente de l'affirmer avec l'autorité d'un organisme officiel international comme une évidence qui s'imposerait d'elle-même.

Des durées de vie de 30 ans et à fortiori de 100 ans ou plus n'ont donc aucun fondement et sont donc définitivement à écarter.

Conséquence sur les prévisions à long terme

Mais ces divergences et les discussions qu'elles entraînent pourraient paraître académiques. Or elles ne le sont pas car elles ont des conséquences directes sur les prévisions du GIEC faites à partir de leur code GCMs, pour les années à venir

Les fameux code GCMs qui prévoient une augmentation de température jusqu'à 6°C en 2100, utilisent, en effet, en données d'entrée des concentrations de CO₂ qui correspondent à des hypothèses de consommations de combustibles fossiles que je ne remets pas ici en cause (environ 3 fois celle d'aujourd'hui) qui se traduisent par des augmentation du taux de rejet dans les mêmes proportions. Mais bien entendu il est considéré que ce carbone anthropique rejeté dans l'atmosphère y reste 100 ans ou plus.

C'est-à-dire que ce gaz dit anthropique, s'accumule dans l'atmosphère qui se gonfle comme un ballon. Il en résulte que la concentration globale utilisée dans les calculs au-delà de 2030 est largement surestimée. Les seuls rejets anthropiques envisagés avec des T_R raisonnable, ne devraient jamais permettre de dépasser la concentration de 570 ppm tandis que le scénario RCP8.5 envisage, lui, des concentrations de 950 ppm en 2100 et de 2000 ppm deux siècles plus tard). Cette attitude est d'autant plus étonnante que le GIEC reconnaît lui-même que les mesures actuelles de concentration de CO₂ montrent qu'on ne retrouve pas dans l'atmosphère la totalité du CO₂ injecté.

Les chiffres de la figure 2 ainsi que les courbes de rejet de la figure 6 en rouge et de la figure 7 en vert montrent, en effet, que le taux (total) d'augmentation de la teneur en CO₂ de l'atmosphère est plus faible que le taux de rejet anthropique. L'hypothèse du GIEC conduit donc bien à admettre que du Carbone manque à l'appel. L'«encyclopedia of earth » actualisé en mai 2012, le reconnaît: *“En dépit de la certitude scientifique que le cycle global du carbone est gouverné par la loi de conservation, les scientifiques ne sont pas capables d'équilibrer les stocks et les flux. C'est-à-dire qu'en sommant les meilleures estimations des flux de carbones vers et hors de l'atmosphère, on trouve dans l'atmosphère moins de carbone qu'attendu. Dans les années 90, il manquait 3 milliards de tonne par an (aujourd'hui ce serait plutôt 4!). Ce carbone manquant est associé à un puits manquant, à un «missing sink» ésotérique que M. Bréon m'avait pourtant affirmé qu'il avait aujourd'hui disparu du discours. Cette attitude, cette obstination est étrange car c'est justement le fait de considérer un T_R de 100 ans qui «crée» cette apparente disparition et de leur point de vue même, il suffit pour retrouver l'équilibre de considérer que ce puits est l'océan qui est un réservoir qui contient **50 fois plus de CO₂** que l'atmosphère et/ou la biosphère dont les flux d'absorption ne sont connus au mieux qu'à 20% près.*

Actuellement la concentration de Gaz carbonique augmente au rythme d'environ 2 ppm par an dont 0,5 dû au CO₂ anthropique. Si on prend les modèles les plus pessimistes envisagés par le GIEC, le rythme de rejet aura presque triplé en 2100. Il est donc raisonnable de se baser sur un rythme d'augmentation moyen de 3 ppm par an (au lieu de 2 aujourd'hui). Dans ce cas, le doublement de la teneur en CO₂ (soit [CO₂]= 800 ppm) serait atteint aux alentours des années 2150 et non 2080 comme prévu dans le scénario enveloppe RCP8.5 du GIEC. Il y a donc un décalage et sans même toucher aux modèles ni aux données utilisés ; il est donc clair que leurs prédictions sont surévaluées, aussi bien au niveau de la cinétique (on dispose de plus de temps que ne le dit le GIEC pour réagir) qu'au niveau de la valeur maximale de concentration de CO₂ que pourrait provoquer l'homme et son industrie.

En revanche, avec la durée de vie de 6 ans et une émission de dioxyde de carbone naturel suivant une loi de croissance identique à celle d'aujourd'hui ($R=R_0+at$), la concentration de CO₂ resterait limitée à une valeur d'environ 566 ppm (1200 Gt). Ces chiffres permettent de rester, avec les modèles GCMs utilisés, dans la plage d'augmentation des 2 °C fatidiques comme le montre le chapitre 12 de l'AR5.

L'alarmisme du GIEC, des media, des politiques n'est donc plus de mise.

Par Pierre Beslu

Références

[1] P. Beslu «Corrosion des circuits primaires dans les réacteurs à eau sous pression» chez EDP Sciences.

[2] Jean-Louis Pineault <http://climatorealiste.com/co2-anthropique/>

[3] Maurice Hadrien, « CO₂ : coupable ou non coupable? » Editions Mélibée

[4] S.Jaworowski, Vidar Hisdal, T. V. Segalstadt ; Atmospheric CO₂ and Global Warming : A critical Review 2nd revised edition"; Norsk-polar Institutt, Meddelelser Nr119, Oslo1992.
Tom V. Segalstad "Carbon cycle modelling and the residence time of natural and anthropogenic atmospheric CO₂: on the construction of the "Greenhouse Effect Global Warming" dogma. Bate, R. (Ed.): "Global Warming: The continuing Debate", European Science and Environment Forum (ESEF), Cambridge, England (ISBN 0-9527734-2-2), pages 184-219, 1998.

Annexe

Données utilisées dans le modèle pB

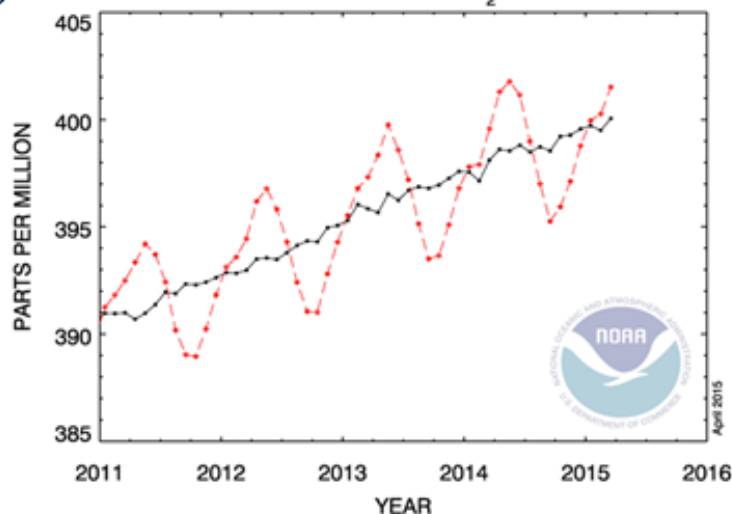
Tout le monde semble s'accorder sur une valeur de durée de vie du carbone atmosphérique naturel comprise entre 5 et 6 ans. Segalstadt et ses collaborateurs [4] ont montré dès 1988 que les valeurs suivantes étaient cohérentes : un stock de CO₂ dans l'atmosphère de 748 Gt (353 ppmv), un taux d'émission R égal à 138 Gt/an et un TR de 5.4 ans. Pour notre application numérique, nous prendrons **Tr=5 ans**.

Les valeurs prises pour r' sont données dans le tableau ci-dessous.

Période en Années	Gt:/an	Période en Années	Gt:/an
1890-1895	0.5	1960-1965	4.03
1895-1900	1.09	1965-1970	4.5
1900-1905	1.3	1970-1975	4.63
1905-1915	1.36	1975-1980	5.5

1915-1925	1.63	1980-1985	6.4
-----------	------	-----------	-----

Figure 5 RECENT MONTHLY MEAN CO₂ AT MAUNA LOA



1925-1930	1.67	1985-1990	6.8
1930-1940	1.8	1990-1995	7.2
1940-1945	2.1	1995--2000	7.7
1945-1950	2.2	2000-2005	7.9
1950-1955	2.72	2005-2010	10
1955-1960	3.27	2010-2015	11

La teneur en CO₂ pendant le petit âge glaciaire est pris à environ 280 ppm (589 Gt) comme l'indique les carottes glaciaires. Avec un TR de 5 ans, cela correspond à une émission R de 118 Gt/an soit moins qu'en 1988 et encore moins qu'en 2015. Remarquons que cette augmentation de R avec le temps est normale et attendue ; l'augmentation de température de la planète consécutive à la fin du petit âge glaciaire doit se traduire par un dégazage de l'océan et une augmentation de végétation et de la respiration des plantes et une augmentation progressive de la concentration de CO₂. En l'absence de données plus précises, nous avons considéré que l'émission naturelle de gaz carbonique était constante jusqu'en 1860 soit à peu près à la fin de la période glaciaire, puis suivait ensuite une loi quasi linéaire at que nous avons également introduite par pas successifs. La valeur de adoptée ($r \approx at$) conduit à un rejet total depuis le début de l'ère industrielle de 315 Gt ou une augmentation de la concentration de 148 ppm soit une légère sous-estimation par rapport au données du GIEC de la figure 1 même si nous prenons en compte que nous avons fait démarrer le rejet anthropique qu'en 1895 soi sur 120 ans au lieu de 160.

Observations et Hypothèses

Equilibre

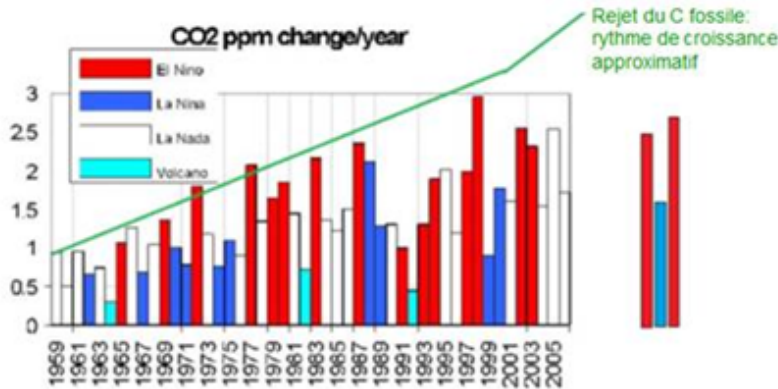
Selon le GIEC, donc, il faudrait faire le distinguo entre le gaz carbonique naturel qui serait à l'équilibre et le gaz carbonique anthropique qui perturberait cet équilibre.

Cette hypothèse ou impression peut résulter du fait que les flux indiqués dans les schémas d'échanges sont des valeurs moyennes sur l'ensemble de la terre sur un temps long. Or

contrairement à ce que disent Treiner et Bréon, le système n'est pas à l'équilibre, en tous les cas, pas localement ni à un instant t. Il suffit d'observer les variations saisonnières de la concentration de CO₂ mesurée par exemple à Mauna Loa (figure 5). Non seulement, il n'y pas équilibre, les variations sont très rapides et un modèle simple montre qu'elles s'accordent bien avec un TR de 5 ans. Si le système était à l'équilibre et que les rejets anthropiques

Figure 3

Fig 7 : Rôle de la température terrestre sur [CO₂]



El Niño =année chaude ; La Niña=année froide, Volcano=année très froide. L'augmentation la plus conséquente =1998 avec le super El Niño. La quantité de CO₂ additionnelle dans l'atmosphère peut donc varier du simple au triple en f(T). Hausse de CO₂ dans l'atmosphère paraît dépendre plus des variations de températures que des émissions humaines.

s'accumuleraient dans l'atmosphère comme le considère le GIEC, alors l'augmentation de concentration de CO₂ devrait correspondre à cet ajout et croître avec lui. Or que constatons nous lorsque nous regardons l'augmentation annuelle de cette concentration donnée par le NOAA, figure 6 ; que le rythme de croissance du CO₂ dans l'atmosphère varie très fortement d'une année à l'autre.

Nous avons reporté sur cette figure (en rouge) grossièrement les émissions de CO₂

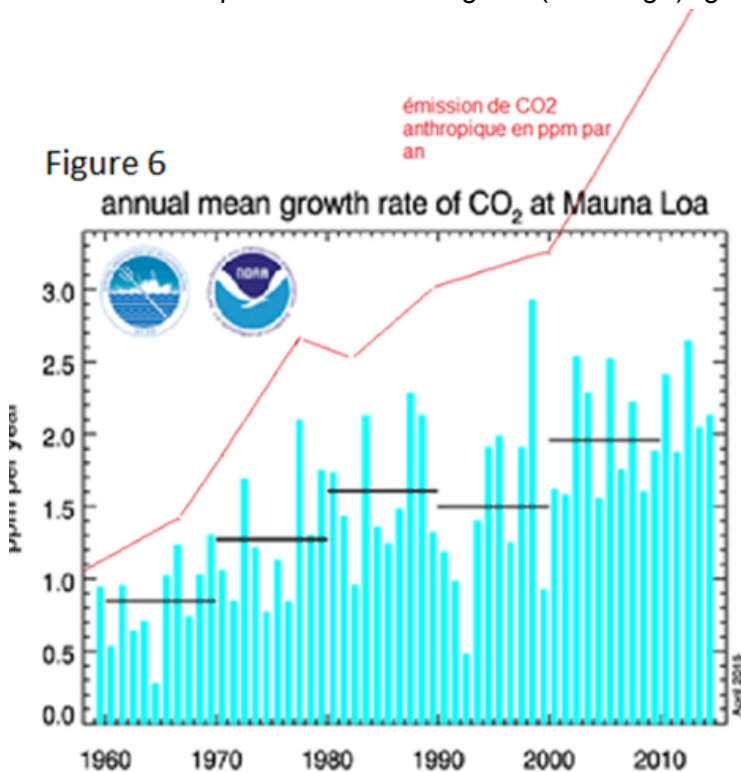


Figure 6
annual mean growth rate of CO₂ at Mauna Loa

provenant principalement de la combustion des combustibles fossiles. On voit que le taux de croissance annuel de la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère ne suit pas fidèlement le rejet anthropique de CO₂. Certes, il y a une tendance générale à l'augmentation mais elle est de l'ordre de 1 ppm/an entre 1960 et aujourd'hui alors que le rejet des combustibles fossiles additionné à celui résultant de la fabrication du ciment, augmente presque de 4 ppm dans le même temps. Comment peut-on expliquer ces variations d'une année à l'autre?

Si on représente , comme cela est fait sur la figure 7 ,les taux d'augmentation de [CO₂] moyens annuels donnés par la NOAA en distinguant les années chaudes ("El Niño" en

rouge), froide (La niña en bleu), entre les deux (la Nada) ou très froide suite à une forte éruption volcanique(magenta), on voit que ce taux dépend très fortement de la température (les 3 années à droite sont les années 2010,11 et 12 que j'ai rajoutées. Ce comportement n'a rien d'étonnant car la solubilité des gaz dans l'eau donc dans les mers croît quand la température diminue et donc le flux d'absorption entre océan et atmosphère va augmenter et le flux opposé d'émission va diminuer. On peut ajouter aussi que la photosynthèse va aussi décroître quand la température va baisser mais la respiration également, ce qui affaiblit sans doute le rôle de la biosphère.

Croissance du [CO₂] avec la température

Par ailleurs plusieurs auteurs ont observé que la teneur totale de l'air en CO₂ varie en fonction de la température de surface de la planète. Si on affine en soustrayant des courbes de Mauna Loa, la part de CO₂ anthropique (sur la base d'un T_R de 5 ou 6 ans), on obtient alors la relation $d[\text{CO}_2]_{\text{naturel}} = k (\text{AT}(t)_{\text{intertropical}} - \text{AT}_0)$ avec k et T₀ valent 1,6 et 0,8°C où AT est l'anomalie des températures de la basse troposphère par rapport à sa valeur moyenne sur 1980-2010. Cette relation est vérifiée depuis que l'on a des mesures fiables de de AT (fin 1978). Elle a été trouvée par des méthodes différentes par plusieurs auteurs². Elle vaut pour Mauna Loa comme pour le pôle sud pourtant séparé par une grande partie du Pacifique et de l'océan austral. Le parfait synchronisme depuis 1958 entre les incréments des teneurs mesurées au Mauna Loa (19°29'N, 155°W) et au pôle est une preuve supplémentaire de cette source intertropicale de dégazage (les émissions "anthropiques" se font pour le plus gros entre 30°N et 55°N et le temps nécessaire pour que de l'air de l'hémisphère nord arrive au pôle sud se compte en années selon les observations de la diffusion du ¹⁴C des expérimentations nucléaires soviétiques).

La croissance des teneurs en dioxyde de carbone est donc, principalement, l'effet naturel du dégazage des sols et des océans. Le fait que depuis 1997-1998, on a "en moyenne" une température T(t) constante tout comme la pente (ou dérivée d[CO₂] /dt) de la teneur [CO₂] par rapport au temps confirme cette loi.

L'équation $d[\text{CO}_2]_{\text{naturel}}/dt = a(T(t) - T_0)$ est équivalente à l'équation précédente que les observations satellitaires permettent d'écrire: les températures se substituent simplement aux anomalies de températures. Elles sont en parfaite cohérence à ce qui vient d'être expliqué. Au passage, elle montre aussi que la teneur de l'air en dioxyde de carbone qui est l'intégrale sur le temps des températures passées, est donc une conséquence des températures et ne saurait donc en être la cause.

Il est maintenant facile de répondre à l'objection : "*Si le CO₂ suit la température de quelques mois, comment se fait-il que l'on observe une hausse continue du CO₂ alors qu'il n'y a plus de hausse des températures depuis 1997 ?*" Ce type de réflexion paraît justifié si on est en situation d'équilibre et que seul joue la loi de Henry comme dans le raisonnement précédent. Mais on est en situation de déséquilibre et la formule implique une croissance constante de [CO₂] si la température T(t) reste constante puisque dans ce cas, l'écart des températures par rapport à la référence T₀ est elle aussi constante mais positive.

² la relation équivalente $dy_{\text{naturel}}/dt = k(T(t) - T(0))$ où T(t) est la température de la zone de dégazage (en gros l'intertropical autour de Mauna Loa). Jeffrey Park a montré cette relation en utilisant une méthode de corrélation dans le domaine temporel. Les valeurs de dy/dt sont synchrones et en valeur très proches aussi bien à Mauna Loa (19.29N) qu'au pôle sud!

Pour “revenir à l'équilibre” soit pour que $[CO_2]_{naturel}$ n'augmente plus, elle montre aussi qu' il suffit que $T(t)$ reprenne la valeur T_0 .

On a la formule et en prime sa justification physique !

Sur les 4,5 Gt par an qui s'accroissent aujourd'hui dans l'atmosphère, la fraction la plus importante provient donc, principalement des océans : le flux net correspondant est presque nul pour les deux années «très» froides qui suivent une éruption volcanique alors que le rejet anthropique n'a que peu ou pas varié. Notons de plus que le flux net en particulier autour des années 1960-1974, a été plusieurs fois **négatifs**. Certains de ces événements sont liés à la désastreuse éruption du volcan Agung en 1963/1964). Ce flux est en revanche «très» élevé en 1998 lors du super el niño et est même supérieur à ceux de 2010-2013 alors que le taux de rejet anthropique a augmenté de 50% entre ces deux périodes.

La stagnation (pause ou hiatus) des températures observée depuis 18 ans reproduit le début des refroidissements observés 60 ans et 120 ans plus tôt; elle est constatée alors que l'augmentation des teneurs en CO_2 (ou pente $d[CO_2]/dt$ pour $dt=12$ mois) est "en gros" constante, soit une vérification de plus de la validité de la relation $d[CO_2]_{naturel}/dt= a(T(t) - T_0)$

Enfin, l'augmentation depuis 1958 des teneurs de l'air en dioxyde de carbone est pour l'essentiel un phénomène naturel découlant d'un surcroît de dégazage par rapport à l'absorption, surcroît qui découle très simplement de l'évolution des températures de 1970 à nos jours.

Mesures directes de la durée de vie moyenne du carbone dans l'atmosphère.

Il existe des déterminations (35) de la durée de vie moyenne du Carbone et donc du CO_2 dans l'atmosphère. Elles sont basées sur des méthodes différentes (Suess effect), le Rn 222, solubilité, et bien sur le $^{13}CO_2$ comme $^{14}CO_2$ (naturel ou bombe) servent de marqueur comme $^{14}CO_2$.

Les valeurs trouvées varient de deux ans à 13 ans si on prend les fourchettes extrêmes données par chaque auteur. La moyenne des 35 déterminations indépendantes est de 7 ans.

Bien entendu, celle qui correspond le plus à une émission impulsionnelle est celle utilisant le ^{14}C des explosions atomiques. Malheureusement, les explosions nucléaires sont très nombreuses et se succèdent ce qui perturbe l'évolution après chaque explosion. Tout ce qu'on peut dire à partir des courbes brutes publiées, c'est que la durée de vie qu'on peut en extraire est inférieure à 12 ans. Il faudrait avoir plus de renseignement sur chaque rejet (date exacte de l'explosion, quantité de C rejeté, donnée météo etc.) et déconvoluer les courbes pour arriver à quelque chose de plus précis. Certains l'ont peut-être fait puisque Ségalstadt [4] signale plusieurs (12) autres déterminations de la durée de vie à partir du Carbone 14 des bombes qui donne des valeurs qui s'étalent de 2 à 12.5 (Suess est impliqué dans 2 des 3 déterminations >10 ans).|

Par ailleurs, on sait que l'on distingue les différentes sources de CO_2 grâce à la composition isotopique du carbone à travers l'indice $\delta^{13}C$ qui indique les teneurs de teneur en Carbone 13

d'un composé par rapport à une référence (PDB). Mais pour certains, le phare mis sur l'isotope 13 du Carbone les amène à penser que cet isotope est absent du carbone émis par la combustion des combustibles fossiles. En conséquence, le $^{13}\text{CO}_2$ serait un marqueur du Carbone d'origine « naturel ». Par exemple, la détermination faite dans [2], conduit à une durée de vie comprise entre 5 à 8 ans pour l'isotope 13 ce que l'on admet mais on réserve cette durée de vie que pour le CO_2 naturel. Or on ne voit pas pourquoi l'isotope 13 se comporterait différemment de l'isotope 12. Ils sont émis par les différentes sources (à une toute petite différence près) de la même manière et doivent donc disparaître de la même manière : Admettons l'approche et les valeurs données par le GIEC. On aurait alors aujourd'hui 120 ppm de CO_2 dû aux rejets anthropiques dans l'atmosphère soit 30% du total. Pour le ^{13}C , il faut certes corriger de l'abondance moindre de cet isotope dans les combustibles fossiles mais la correction est légère puisqu'on obtient environ 29% ^{13}C d'origine anthropique au lieu de 30%, c'est la seule différence qui existe entre ^{12}C et ^{13}C . Comme d'une part, toujours d'après [2], on a 6 ans de durée de vie pour le carbone naturel et 30 ans pour le carbone anthropique et environ 100 ans d'après le GIEC, on devrait avoir comme durée de vie pour le Carbone 13 $(6 \times 0,71) + (30 \times 0,29) \approx 13$ ans ou $(6 \times 0,71) + (100 \times 0,29) \approx 33$ ans pour le GIEC. C'est ce que l'on aurait dû trouver s'il y avait deux durées de vie. Il y a donc incohérence à affirmer cela alors qu'au contraire, la détermination faite dans [2] confirme que la durée de vie du gaz carbonique est bien comprise entre 5 et 8 ans.

Flux net

Les lois de la physique, si souvent invoquée, impose donc que l'eau liquide chauffée **dégaze** et rejette les gaz dissous qu'elle contient. La loi de Henry est incontournable. On n'y échappe pas. Vérifions cependant si ce mécanisme est suffisant sur un plan quantitatif pour être l'origine principale des rejets dans l'atmosphère.

Focalisons nous sur les valeurs récentes de Mauna Loa : elles sont passées de 315 à 400 ppm entre 1959 et aujourd'hui tandis que la température moyenne des océans augmentait de 0.8 °C, d'après le Hadley Center, pendant la même période. Cette augmentation de température est-elle compatible avec l'augmentation de la concentration de CO_2 de 85 ppm ?

Il faut bien sûr, en premier lieu, soustraire de cette valeur 6% de CO_2 d'origine anthropique dans l'atmosphère. Les rejets anthropiques contribuent, en effet et personne ne le nie, depuis le début de l'ère industrielle, au CO_2 contenu dans l'air; Nous n'avons donc alors plus à justifier qu'une augmentation de 61 ppm de CO_2 (129 Gt de Carbone).

L'utilisation du logiciel proposé par G.Copin-Montégut basé sur la loi de Henry permet de calculer que cette quantité correspond à une augmentation de température d'une couche d'océan d'environ **600 m** de profondeur. On pourrait alors arguer que le temps de migration depuis cette profondeur imposé par la cinétique de transport impose d'éliminer ce mécanisme. Mais cette augmentation s'étale sur 55 ans ce qui donne une augmentation annuelle correspondante de 1.11 ppm/an (ou 2.35 GT/an) qui ne nécessite le dégazage que d'une couche d'océan d'environ 11 m d'épaisseur. Bien sûr ce chiffre n'est qu'une moyenne, mais même pour les années où le rejet annuel atteint 3 ppm/an, la couche superficielle concernée n'est que de 30 m de profondeur ce qui n'est pas limitant. On estime que pour atteindre le « thermocline » (couche à environ 1 km de profondeur) trois ans « seulement » sont nécessaires ce qui laisse largement le temps au CO_2 d'arriver de la profondeur nécessaire (≈ 600 m sur 55 ans) ; Le CO_2 dégazé continuellement sera lui vite

remplacé de proche en proche par le CO₂ venant des couches plus profondes. La cinétique de migration du CO₂ dans l'océan n'est donc pas un facteur limitant et ces chiffres confirment qu'on pourrait tout à fait expliquer par le réchauffement de la couche superficielle des océans et la loi de Henry, le rôle important du rejet de CO₂ «naturel» dans l'atmosphère mis en évidence dans le chapitre précédent. Mais il faut remarquer que ce type de calcul est basé sur l'équilibre entre deux phases, or comme nous l'avons signalé, il y n'a pas (sauf fortuitement) équilibre entre l'atmosphère et les océans, ni localement, ni temporellement. Comme je l'écris dans [3], « la pression partielle de CO₂ de la surface, pCO₂, varie spatialement et temporellement dans d'importantes proportions au contraire de la concentration dans l'air, elle, assez homogène. Par exemple, alors que la pression partielle de CO₂ est de l'ordre de 400 μatm à la surface de l'Atlantique nord en hiver, elle passe à environ 300 μatm après la poussée printanière de plancton. Si on considère l'ensemble des océans, les variations géographiques et saisonnières sont encore plus importantes puisque le pCO₂ des eaux de surface varie d'environ 150 à 550 μatm et même 1000 μatm. Les eaux profondes en raison de la décomposition de déchets organiques (effet biologique) possèdent, en effet, des pressions partielles plus élevées en CO₂ que dans l'atmosphère de telle sorte que le processus de remontée d'eau (upwelling) des couches profondes provoqué par les courants, les vents ou la topographie ramène vers la surface des eaux chargées en carbone inorganique dissous. Il en résulte un efflux de CO₂ vers l'atmosphère équivalent à celui que l'on obtient à l'ouverture d'une bouteille de champagne, de bière ou de soda.»

On a donc que très rarement égalité des pressions partielles de l'océan et de l'atmosphère mais cela n'empêche pas la force de rappel vers l'équilibre entre l'océan et l'atmosphère de s'exercer. En un endroit donné et à un instant donné lorsque la pression partielle de CO₂ est plus élevée que celle de l'océan, celui-ci absorbe du gaz carbonique et il en émet dans le cas contraire. $\Delta p_{CO_2} = (pCO_2)_{mer} - (pCO_2)_{equ}$. (1)

(pCO₂)_{mer} étant la pression partielle réelle et (pCO₂)_{equ} la pression partielle d'équilibre correspondant au (pCO₂)_{air} existant (donc à peu près la même sur toute la planète).

La cinétique de ce phénomène est modulée par la vitesse du vent et par la différence de pression partielle. Le flux local est alors donné par $F = kS\Delta p_{CO_2}$ (2).

On comprend alors que le flux global net soit très difficile à estimer à partir de mesures directes d'autant qu'il faut aussi considérer que l'ensemble de la surface de l'océan n'est pas échantillonné et que la vitesse des vents est très variable (or elle joue à la puissance 3 sur le coefficient k).

La somme des flux locaux F pour les quels Δp_{CO₂} est positif, c'est-à-dire pour lesquels on a (pCO₂)_{mer} > (pCO₂)_{equ}, donne le flux total global d'échange océan-atmosphère. Celui pour lequel (pCO₂)_{mer} < (pCO₂)_{air} et donc Δp_{CO₂} négatif, le flux total global d'échange atmosphère-océan. Et il n'y a pas de raison que ces deux flux opposés soit strictement égaux. Néanmoins le (pCO₂)_{equ} dépendant de la température, F dépendra aussi de la température et le flux global océan-atmosphère variera comme la température de l'océan alors que le flux global atmosphère-océan variera en sens inverse, c'est-à-dire qu'il augmentera quand la température diminuera. Il existe donc une température où les deux flux seront égaux et pour laquelle nous serons en situation de pseudo équilibre.

