

Science, climat et énergie

Réflexions sur la science, le climat et l'énergie

La croissance du CO₂ dans l'atmosphère est-elle exclusivement anthropique? (3/3)

© 19 juillet 2019  atmosphère et CO₂, bilan énergétique de la Terre, Cycle du carbone, émissions de CO₂  CO₂  JC Maurin

Effet Bombe et Modèles du GIEC

par J.C. Maurin, Professeur agrégé de Physique

Les prévisions du climat sont générées par des modèles informatiques. Leurs concepteurs pensent pouvoir décrire l'état moyen de l'atmosphère en 2100, en prenant comme principale donnée d'entrée, le taux **futur** de CO₂ qui constituerait donc le 'bouton de commande' du climat.

Il y a **deux** étages de modélisation : on commence par prévoir le taux de CO₂ en 2100 avec des modèles **sélectionnés par le GIEC** (ces modèles « IRF » du GIEC sont l'objet de l'article).

Cette prévision constitue ensuite l'entrée du second étage, à savoir les modèles types « échanges radiatifs » ou « effet de serre » qui **ne sont pas** traités ici (mais on peut consulter [ceci](#)).

Le présent article (qui est la suite de deux autres [ici](#) et [ici](#)) compare la réponse impulsionnelle **théorique** de ces modèles « IRF » avec la réponse impulsionnelle **observée** du ¹⁴CO₂ (effet Bombe).

[Partie 1/3 de l'article \(Carbone 14 et effet Suess\)](#)

[Partie 2/3 de l'article \(Carbone 14 et effet bombe\)](#)

1. Modèles théoriques IRF pour le CO₂ anthropique

Les modèles utilisés par l'organisme intergouvernemental GIEC sont des fonctions dites « **IRF** » (IRF= Impulse Réponse Transfert) qui comportent une demi-douzaine de paramètres.

• Fonctions de transfert



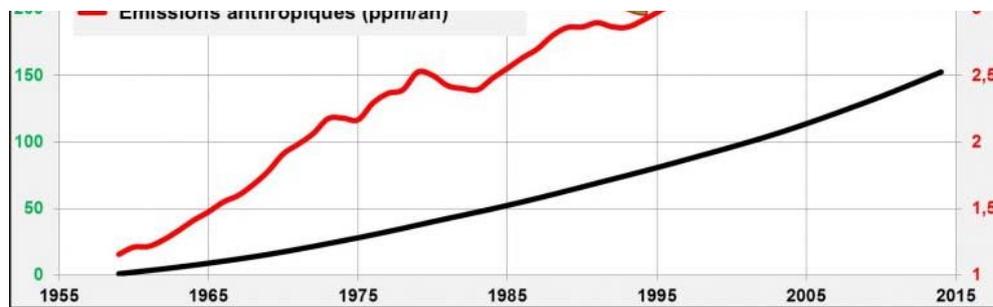


Figure 1a. Fonctions de transfert [8]. Elles sont construites pour retrouver, à partir des **seules** émissions anthropiques (en rouge), la croissance du CO₂ atmosphérique mesurée à Mauna Loa depuis 1958 (courbe verte).

Un modèle simplifié de fonction de transfert consiste à calculer le cumul des émissions (Σ émissions anthropiques = courbe noire Fig. 1a), puis à l'adapter : c'est-à-dire à en prendre environ la moitié, (le GIEC désigne cette proportion *ad hoc* par le terme « airborne fraction »), ensuite à décaler de 314 ppm afin de retrouver [CO₂] (courbe verte Fig.1a).

Ce modèle simple de fonction de transfert s'écrit donc $[\text{CO}_2] = 314 + 55\% \Sigma \text{ émissions anthropiques}$. Le rapport AR 4 [5] indique une « airborne fraction » de 60%.

• Fonctions IRF

Le GIEC donne la fonction de transfert **indirectement**, sous la forme de réponse impulsionnelle IRF (par transformation de Laplace de la fonction de transfert). Les fonctions IRF **effectivement** utilisées par le GIEC sont indiquées dans le rapport WG1 AR4 [5] et sont reproduites à la Fig.1b.

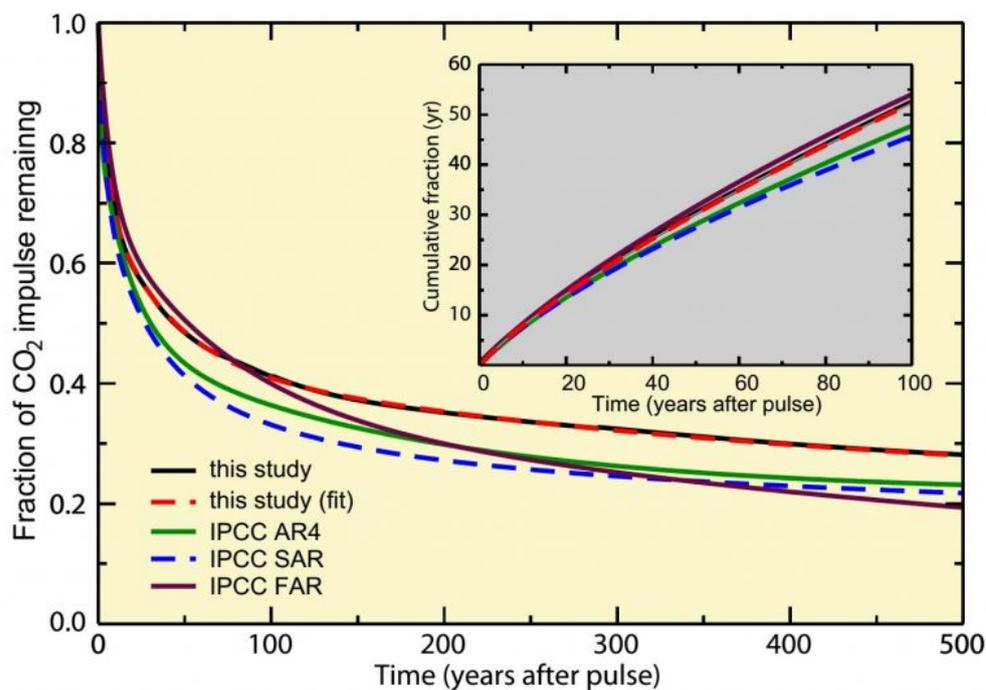


Figure 1b. Les fonctions IRF du GIEC (voir article de F. Joos 2013) [5]. Ces fonctions traduiraient la réponse de l'atmosphère à un ajout brusque de CO₂, autrement dit, elles sont **aussi** des réponses impulsionnelles. Ces fonctions utilisent des sommes d'exponentielles et une **demi-douzaine de paramètres**. Les exponentielles modéliseraient les échanges avec divers réservoirs, les paramètres reflèteraient la vitesse des

échanges et la taille des réservoirs.

Y a-t-il équivalence entre les fonctions IRF et la thèse d'une croissance exclusivement anthropique pour le CO₂ ?

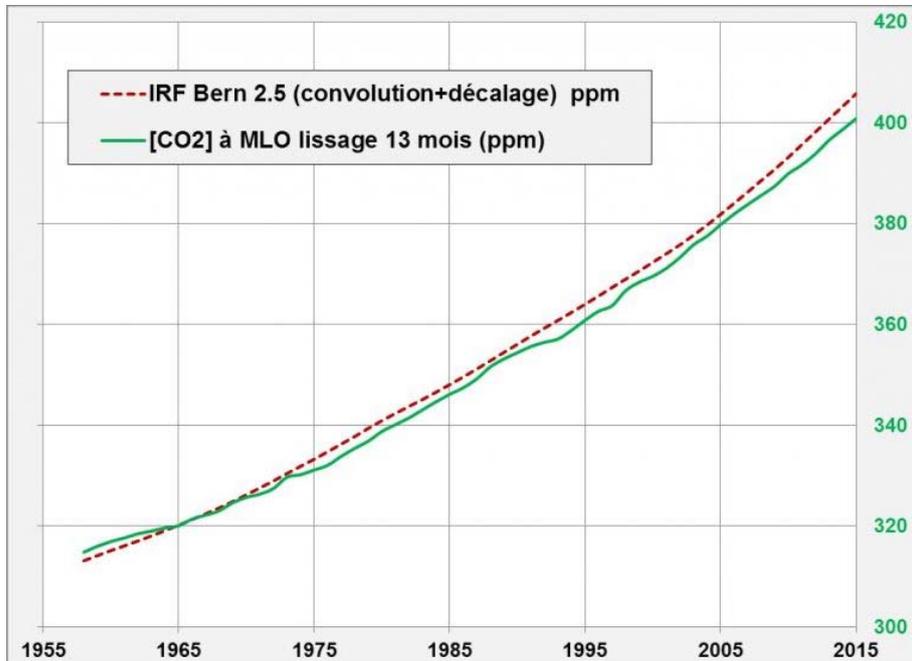


Figure 1c. [5] cf. Joos 2013 et [8] cf. Convolution. En effectuant un **produit de convolution** entre émissions anthropiques et fonction IRF (ici Bern 2.5), on retrouve la croissance du CO₂ dans l'atmosphère.

On constate donc que les fonctions IRF permettent bien de satisfaire la thèse du GIEC, à savoir que la hausse du CO₂ atmosphérique serait **entièrement causée** par les **seules** émissions anthropiques.

Cette thèse d'une croissance du CO₂ **exclusivement** anthropique constitue la **véritable contrainte** d'élaboration des modèles IRF. Le paragraphe suivant montre que cette contrainte conduit à considérer des réservoirs et des vitesses d'échanges **irréalistes**.

2. Comparaison des modèles IRF GIEC versus observations ¹⁴CO₂

Les **observations** de $\Delta^{14}\text{C}$ permettent d'avoir la réponse de l'atmosphère à un ajout presque instantané (1961-1963) de ¹⁴CO₂ (ici Fig.2).

Les modèles **IRF du GIEC** correspondraient à la réponse **théorique** de l'atmosphère à un ajout instantané de CO₂ anthropique.

La comparaison directe (Fig. 2a) entre les 2 réponses impulsionnelles est donc fondée.



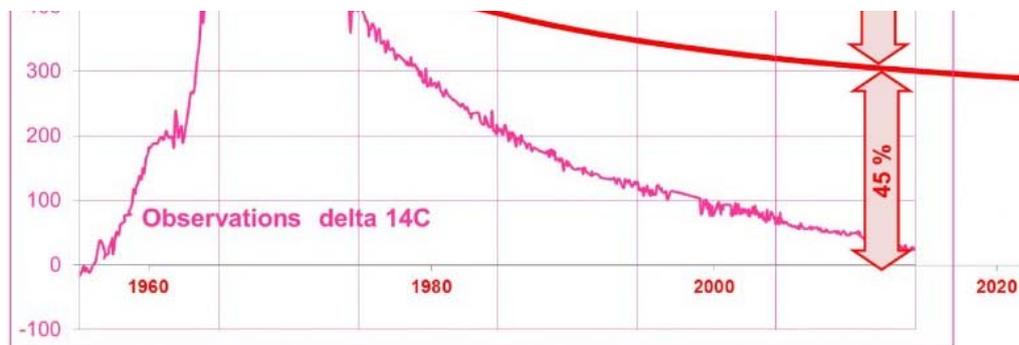


Figure 2a. [8] [5] IPCC AR4 et F. Joos 2013. Comparaison modèle IRF GIEC CO₂ (courbe rouge → Bern 2.5) [5] versus observations ¹⁴CO₂ à Wellington (courbe rose → voir Fig.5b ici).

La Figure 2a nous indique que :

- La décroissance est bien **plus rapide** pour les observations que pour le modèle IRF, ce qui signifie des échanges **plus rapides** pour ¹⁴CO₂ que pour le modèle IRF.
- Les niveaux atteints 50 ans après l'impulsion sont **très différents**, ce qui signifie une taille apparente **plus grande** pour les réservoirs ¹⁴CO₂ que pour le modèle IRF GIEC (voir § 3 ici).

Les schémas A et B de la Fig 2b permettent l'interprétation des courbes de la Fig. 2a.

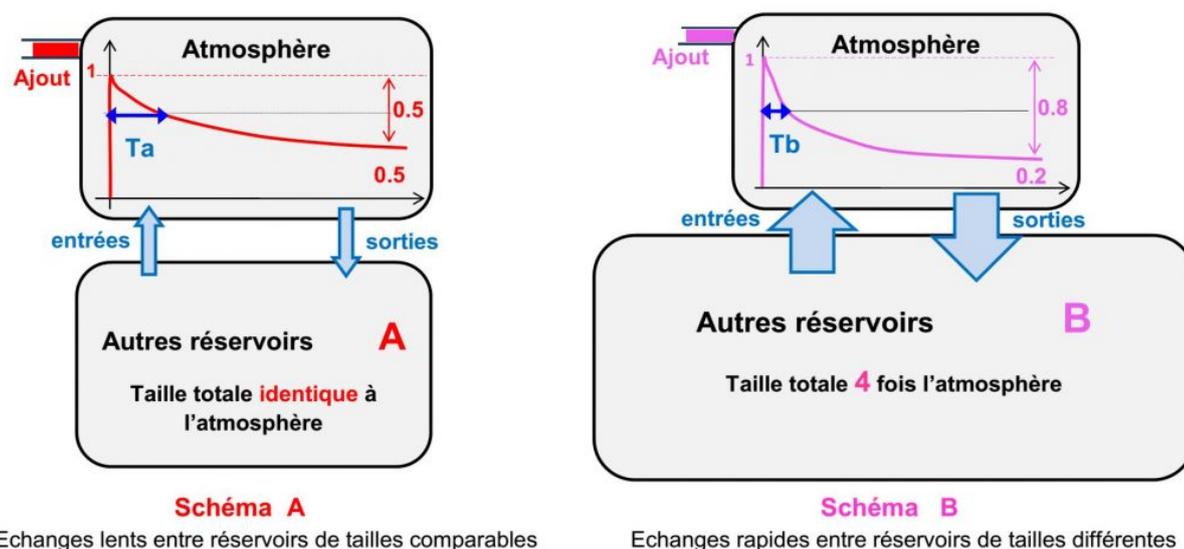
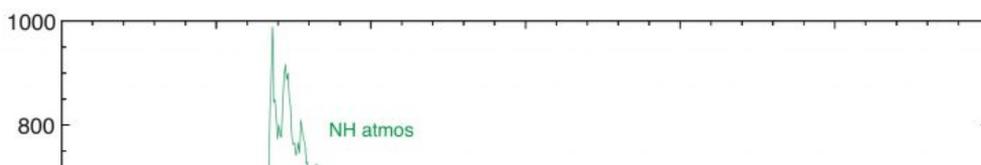


Figure 2b (voir § 3 ici). Les **modèles** IRF du GIEC (en rouge) sont proches du schéma A, alors que les **observations** sur $\Delta^{14}\text{C}$ depuis 1965 (en rose) sont proches du schéma B.

- Les échanges sont-ils lents pour un réservoir majeur tel l'océan Pacifique ?



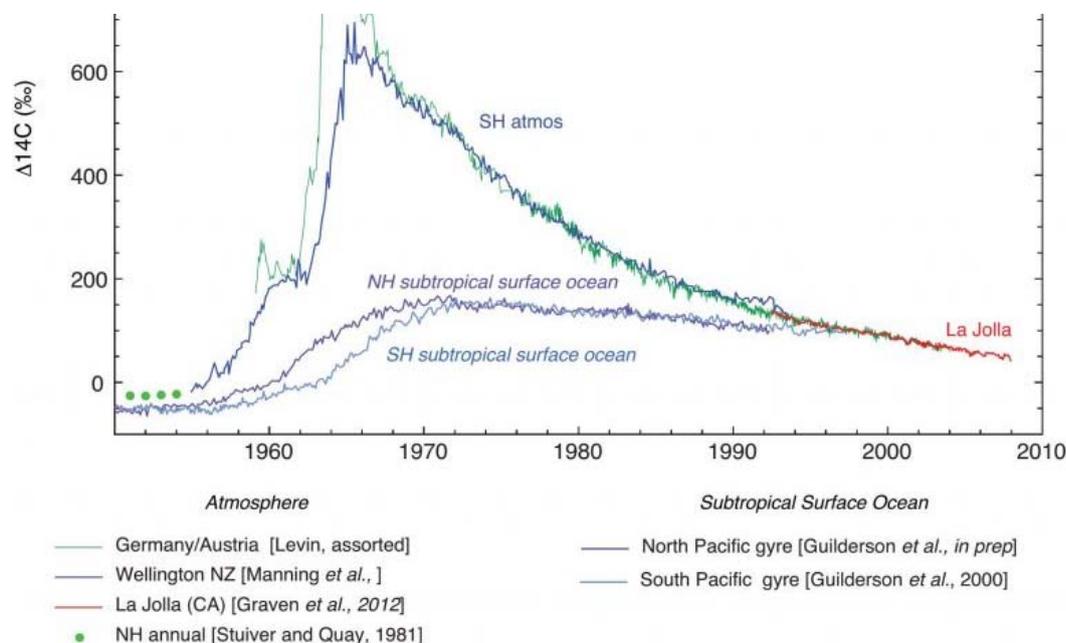
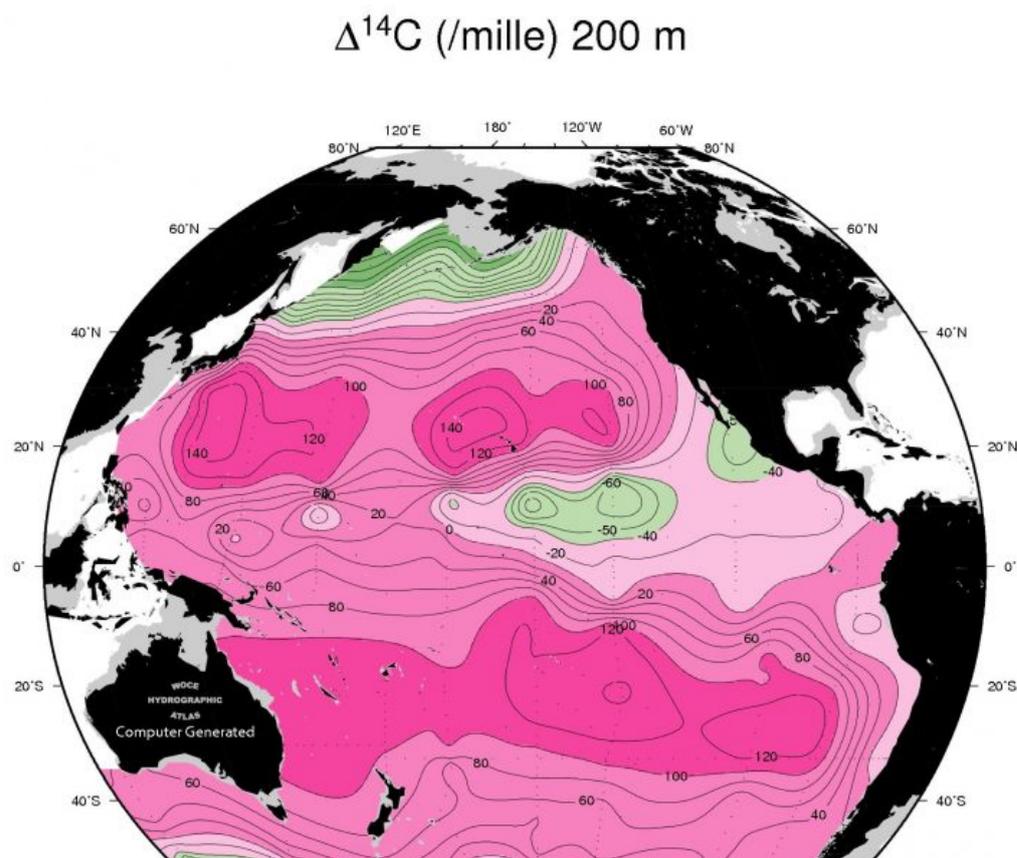


Figure 2c. Dilution ^{14}C dans le Pacifique intertropical [6] Guilderson 2012.

Avant 1952, pour l'océan, on estime $\Delta^{14}\text{C} \approx -50 \text{ ‰}$ (voir [ici](#)). Dans l'océan, la croissance de $\Delta^{14}\text{C}$ s'effectue entre 1960 et 1970, donc en **10 ans**. Vers 1995, les concentrations en carbone 14 se sont égalisées entre océan et atmosphère, soit seulement **30 ans** après le maximum de 1965.

- Le modèle IRF du GIEC correspond à des réservoirs dont la taille est comparable à l'atmosphère (55% versus 45% à la Fig. 2a). Mais les **observations** montrent que $^{14}\text{CO}_2$ se répartit dans des réservoirs **au moins 3,6 fois plus grands** que l'atmosphère (voir [Fig.5b et 5c](#) [ici](#)).

Les autres réservoirs sont-ils vraiment de taille comparable à l'atmosphère? Examinons un réservoir majeur tel l'océan Pacifique.



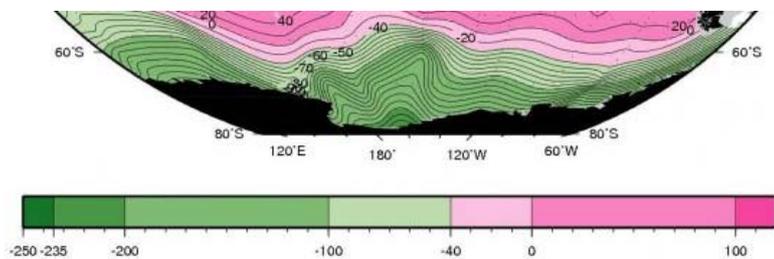


Figure 2d. Le ^{14}C dans l'océan Pacifique [6] WOCE [ici](#).

L'océan contiendrait environ ≈ 50 fois plus de CO_2 que l'atmosphère, et sa profondeur moyenne est 3800m. Une couche d'épaisseur $3800/50 = 76\text{m}$ correspondrait donc à la quantité totale de CO_2 de l'atmosphère. Selon le modèle IRF du GIEC, les réservoirs qui échangent avec l'atmosphère depuis 50 ans seraient de taille comparable: le carbone 14 en provenance de l'effet Bombe devrait alors être présent dans l'océan sur une **profondeur $\approx 76\text{ m}$** .

La carte correspond à une modélisation à partir d'observations (profondeur 200 m) entre 1990 et 1996. En seulement 30 ans, le ^{14}C issu de l'effet Bombe s'est largement diffusé dans l'océan Pacifique sur une **profondeur $> 200\text{ m}$** . (Avant 1952, on estime $\Delta^{14}\text{C} \approx -50\text{ ‰}$. voir [ici](#)).

3. Conséquences des observations« effet Bombe »

Discussion

Les **observations** portent sur $^{14}\text{CO}_2$ alors que les **modèles** IRF du GIEC concernent le CO_2 anthropique, donc essentiellement $^{12}\text{CO}_2$.

Quelles sont les différences entre les 2 molécules ?

$^{14}\text{CO}_2$ n'est pas stable, **mais** la décroissance radioactive en 50 ans n'est que de 0,6%.

$^{14}\text{CO}_2$ et $^{12}\text{CO}_2$ diffèrent par leur masse **mais** le fractionnement isotopique est inférieur à 10%.

La décroissance radioactive ou le fractionnement isotopique ne constituent pas une explication suffisante pour les grandes différences (Fig.2a) entre les observations sur $^{14}\text{CO}_2$ et les modèles GIEC du CO_2 .

Depuis Galilée, lorsqu'il y a désaccord, on juge préférable de modifier la théorie pour l'adapter aux observations : que devrait-on faire pour concilier les modèles théoriques du GIEC avec les observations « effet Bombe » ?

Il faudrait utiliser des échanges **plus rapides** avec des réservoirs **plus grands**, ce qui aura pour effet de rapprocher les modèles IRF du GIEC (Fig.1b) des observations ([Fig.5b ici](#)).

Les figures 3a et 3b illustrent la conséquence d'échanges **plus rapides** avec des réservoirs **plus grands**.



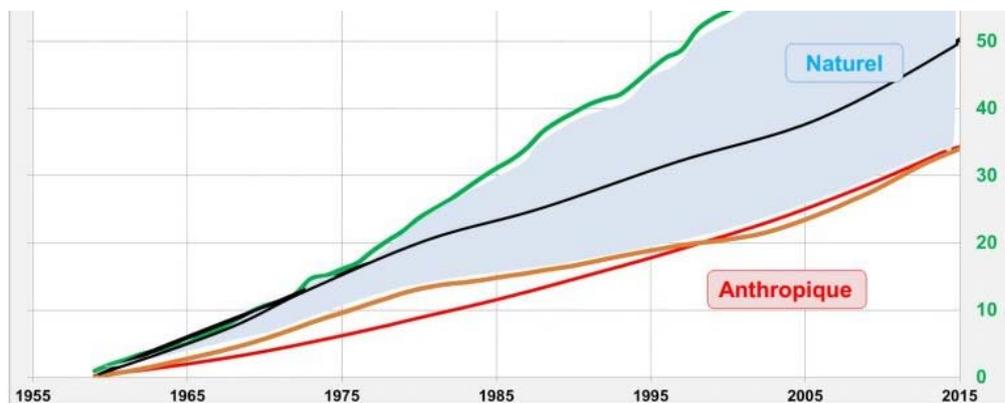


Figure 3a. [8] Croissance de [CO₂] à Mauna Loa entre 1958 et 2015 (courbe verte). Entre 1958 (314 ppm) et 2015 (400 ppm), la croissance de [CO₂] est de 86 ppm.

L'augmentation de la taille des réservoirs entraînerait une proportion $\approx 155 / 715 \approx 22\%$ pour le CO₂ anthropique restant dans l'atmosphère (courbe rouge).

Une deuxième estimation utilise la durée de séjour (Fig.4 ici) : le CO₂ anthropique présent dans l'atmosphère correspondrait au cumul anthropique des 10 années précédentes (courbe marron).

Une troisième estimation (courbe noire) correspond à la convolution des émissions anthropiques avec l'effet Bombe (corrections Suess + industrie nucléaire Fig.5b ici). [8] cf. Convolution).

Pour retrouver la totalité de la croissance du CO₂ mesurée à MLO (en vert), il faut alors compléter par des apports nets **non** anthropiques, c'est-à-dire naturels (surface bleue). La croissance depuis 1958 (+86 ppm) serait alors mixte : en partie naturelle et en partie anthropique.

Notons que, par le passé, le taux de CO₂ a largement varié naturellement (ici).

Une représentation alternative ou complémentaire à la Fig.3a consiste à tracer la variation annuelle (ppm/an) du CO₂ en fonction de la date (ici).

La figure 3b propose une interprétation de cette variation annuelle ou growth rate (la variation est positive, c'est donc une croissance).

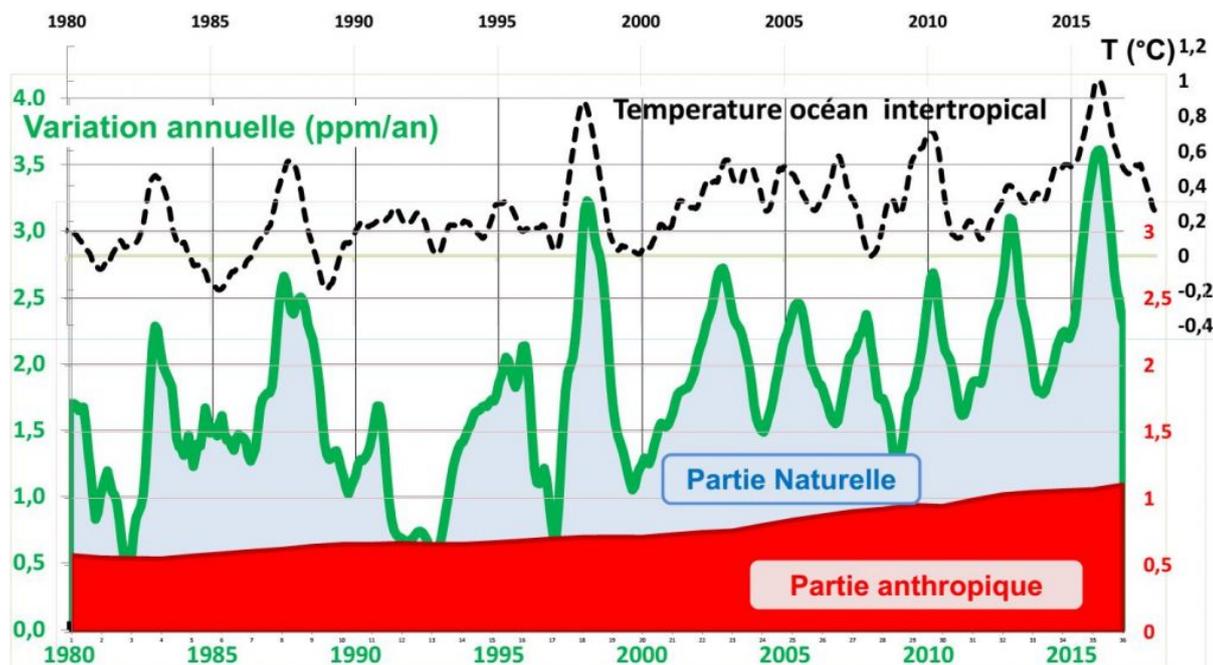


Figure 3b. Variation annuelle ou growth rate (courbe verte) [8] cf.onglet Growth rate. La courbe verte représente la **différence** du taux de CO₂ d'une année sur l'autre. La croissance dépasse +3 ppm/an lors des épisodes El Niño de 1998 et 2016.

La **surface** totale sous la courbe verte correspond à [CO₂]. Dans cette surface, on distingue la part anthropique (surface rouge) et la part naturelle (surface bleue). La somme des deux donne la courbe verte, c'est-à-dire la variation annuelle (ou croissance annuelle).

La part anthropique (surface rouge) est en augmentation, mais elle varie peu, alors que la part naturelle (surface bleue) varie fortement. Notons qu'en 1982, 1992 et 1996, la part naturelle est nulle, voire négative.

Cette part naturelle (surface bleue) est corrélée à la température de surface de l'océan intertropical (courbe pointillée noire). Une tentative d'explication est proposée [ici § D.2](#).

Le premier article ([ici](#)) a montré qu'une « airborne fraction » $\approx 22\%$, ou bien une durée de séjour ≈ 10 ans, permet de concilier l'effet Suess de 1950 avec les observations $\Delta^{14}\text{C} \approx -15$ à 25% ([voir ici § 6](#)).

Une croissance mixte (anthropique **et** naturelle) de [CO₂] s'accorde **également** avec les observations de $\delta^{13}\text{C}$ ([voir ici § C.3.1](#)).

Avec l'effet Bombe, il existe donc **trois** types d'observations **indépendantes** suggérant une croissance mixte pour le CO₂ atmosphérique.

4. Conclusions

- Dans la mesure où ¹²CO₂ et ¹⁴CO₂ ont des comportements voisins, les observations « effet Bombe » montrent que les modèles **théoriques** sélectionnés par le GIEC, utilisent des réservoirs **trop petits** et qui échangent **trop lentement** avec l'atmosphère lors des 50 dernières années.
- L'augmentation de la taille des réservoirs et de la vitesse des échanges, rapprocherait ces modèles IRF du GIEC des observations pour « l'effet Bombe » mais **aussi** pour l'effet Suess de 1950 ([ici](#)) **ainsi que** pour $\delta^{13}\text{C}$ ([ici § C.3.1](#)).
Ces modifications, conséquences de ces **trois** observations, entraîneraient *de facto* l'abandon d'une origine **exclusivement** anthropique pour la croissance du CO₂ atmosphérique.
- **La modélisation du cycle du carbone est encore pleine d'incertitudes** ([ici](#)) car les échanges de CO₂ sont très mal connus, en dehors de l'entrée anthropique ([ici § A.5](#)).
Il est donc difficile d'estimer la répartition anthropique / naturelle dans les évolutions du CO₂ atmosphérique depuis 1958.
- On peut surtout s'interroger sur la possibilité de prévoir la concentration du CO₂ en 2100 : les émissions anthropiques futures sont **incertaines** et surtout **la partie naturelle est largement inconnue et imprévisible**. Cette partie naturelle peut même devenir **négative** d'ici 2100.
Or, les prévisions du climat en 2100, publiées par l'organisme intergouvernemental GIEC, **sont justement basées sur la concentration future de CO₂ ...**

Epilogue

« *The world is expected to invest around US\$ 90 trillion in infrastructure over the next 15 years* » ([ici](#)).

Telles sont les dépenses, **indispensables**, selon l'organisme intergouvernemental **La Banque Mondiale (BIRD)**, afin d'éviter une croissance trop importante du CO₂ atmosphérique d'ici 2100.

Pour donner au lecteur la mesure des 90 000 000 000 000 \$, vraisemblablement ponctionnés sur l'ensemble

des contribuables, il convient d'utiliser un exemple.

Si un contribuable, qui perçoit le salaire minimum, (il ne travaille pas dans un organisme intergouvernemental), a consacré 10 minutes à la lecture de cet article, la banque mondiale aura dépensé dans ce laps de temps, l'équivalent de 10 000 ans de salaire minimum (10 000 ans, c'est la durée qui nous sépare de la dernière glaciation).

Cet exemple peut inciter le contribuable à une lecture plus rapide (c'est vain : les taxes ne changeront pas), ou au contraire à une lecture lente et attentive (c'est risqué : il pourrait s'imaginer que les prévisions du climat en 2100 sont plutôt des prédictions, peut-être même des prophéties).

Partie 1/3 de l'article (Carbone 14 et effet Suess)

Partie 2/3 de l'article (Carbone 14 et effet bombe)

Références

1. Propriété du carbone 14 : [Fiche IRSN](#) ; [Radiocarbon Determination](#)

2. Variabilité naturelle et anthropique pour ^{14}C :

– H.E. Suess, « Radiocarbon Concentration in Modern Wood », *Science*, vol. 122, n°3166, 1955, (DOI [10.1126/science.122.3166.415-a](https://doi.org/10.1126/science.122.3166.415-a))

– Stuiver & Quay 1981 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0012821X81900406?via%3Dihub>

– Tans, De Jong & Mook 1979 <https://www.nature.com/articles/280826a0>

– P. Jean-Baptiste, M. Paterne 2003 DOI: [10.1051/radiopro:2003017](https://doi.org/10.1051/radiopro:2003017)

3. Emissions anthropiques : [CDIAC](#).

– [CO₂] dans l'atmosphère ftp://aftp.cmdl.noaa.gov/products/trends/co2/co2_annmean_mlo.txt

– [CO₂] avant 1958 <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/law/law2006.txt>

4. Données $^{14}\text{CO}_2$ New Zealand : <ftp://ftp.niwa.co.nz/tropac/co2/14co2/>

Données $^{14}\text{CO}_2$ Austria : <https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/co2/cent-verm.html>

Turnbull 2017 : <https://www.atmos-chem-phys.net/17/14771/2017/acp-17-14771-2017.pdf>

5. Thèse du GIEC :

AR4 WG1 Chap 2 page 139 « The relationship between increases in atmospheric CO₂ mixing ratios and emissions has been tracked using a scaling factor known as the apparent 'airborne fraction', defined as the ratio of the annual increase in atmospheric CO₂ to the CO₂ emissions from annual fossil fuel and cement manufacture combined (Keeling et al., 1995). **On decadal scales, this fraction has averaged about 60% since the 1950s.**

AR5 WG1 Ch6 box 6.1 page 472 https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter06_FINAL.pdf

2013. Joos 2013 Multimodèles <https://www.atmos-chem-phys.net/13/2793/2013/acp-13-2793-2013.pdf>

6. Carbone 14 dans l'océan Pacifique :

WOCE (World Ocean Circulation Experiment) http://whp-atlas.ucsd.edu/pacific_index.html

http://whp-atlas.ucsd.edu/pacific/atlas_text/WHPAtlas_Vol2_Pacific_Introduction.pdf (voir xi, xii et xiii)

Guilderson 2012 <https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/636052.pdf>

Druffel 1987 **Bomb radiocarbon in the Pacific**

Mahadevan 2000 **An analysis of bomb radiocarbon trends in the Pacific**

7. Articles connexes :

Herman Harde 2019 <http://article.esjournal.org/pdf/10.11648.j.earth.20190803.13.pdf>

Herman Harde 2017 <http://edberry.com/SiteDocs/PDF/Climate/HardeHermann17-March6-CarbonCycle-ResidenceTime.pdf>

J.Munshi 2016 **Dilution of atmospheric radiocarbonCO2 by fossil fuel emissions**

Edwin Berry 2019 <http://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo?journalid=298&doi=10.11648/j.ijaos.20190301.13>

Edwin Berry 2018 <https://edberry.com/blog/climate-physics/agw-hypothesis/contradictions-to-ipccs-climate-change-theory/>

Saurer Cherubini BonaniSiegwolf 2003 <https://pdfs.semanticscholar.org/50ba/cb7e4ee2400cf47409675585da409e604040.pdf>

J.C. Turnbull, H. Graven and N.Y. Krakauer https://nirkrakauer.net/papers/Turnbull_etal_2016.pdf

Caldeira, Rau & Duffy 1998 <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/1998GL900010>

Levin Hesshaimer 2000 **Radiocarbon A unique tracer of global carbon cycle dynamics**

Camille Veyres 2016 **Sur les réservoirs avec une sortie auto-adaptative et le cycle du carbone.**

8. La feuille de Calcul « **Carbone 14 Modèles GIEC** » met en forme les données d'observations. Le répertoire « **Convolution** » contient les codes de calcul utilisés dans l'article.

(Visited 551 times, 1 visits today)

 Post Views: 2 493

6 réflexions au sujet de « La croissance du CO₂ dans l'atmosphère est-elle exclusivement anthropique? (3/3) »



19 juillet 2019 à 14 h 23 min

Denis
Gaumond

Montréal
Le 19 juillet 2017

Bonjour SCE,

Je viens de terminer la lecture de votre magnifique texte du 19 juillet 2019. Voilà un texte fort pédagogique. Cela me plaît beaucoup. Surtout l'épilogue qui nous ramène sur la réalité des simples mortels comme moi ! Cependant que j'adore aussi vos données et analyses plus scientifiques.

Sauf qu'il me manque une information majeure. Toutes vos analyses de données et des processus sur le CO₂ me laissent croire que c'est maintenant un fait accompli, le CO₂ participe activement au réchauffement de la planète ! Ce débat est-il conclu selon vous ? Pour ma part, je ne constate pas de réchauffement significatif de la température annuelle mondiale moyenne (TAMM), alors que nous lisons que le CO₂ a cru de plus de 40% depuis 1993, enfin je crois... (Ref : François Gervais). Avant de mettre autant d'argent, d'énergie et d'effort pour lutter contre la production du CO₂, sommes-nous certains de miser sur le bon cheval, le CO₂ ?

Je vous remercie beaucoup et j'attends avec impatience votre réponse et votre prochain texte. Je prends aussi la liberté de les partager à mes amis/es. Je crois que cela vous convient...

Bonne journée et à la prochaine,



19 juillet 2019 à 18 h 34 min

JC Maurin

Merci d'apprécier ce texte et merci de venir lire, sur SCE, des textes contradictoires avec la doxa du moment.

Pour l'information majeure, à savoir dans quelle mesure le CO₂ entrainera un réchauffement, un lien figure dans mon introduction vers une note de Georges Geuskens.

<http://www.science-climat-energie.be/2018/08/06/le-co2-et-le-climat-avec-et-sans-effet-de-serre/>

Comme G. Geuskens et comme d'autres physiciens, je doute que l'augmentation

du CO2 génère un réchauffement catastrophique.

Je doute encore plus que nous puissions prévoir quoi que ce soit sur le climat en 2100.

En revanche, il me semble que la CROYANCE dans « l'effet de serre » génère bien des dépenses très importantes, probablement inutiles, et peut-être même nuisibles à l'environnement.



20 juillet 2019 à 16 h 28 min

Éric
Ducharme

Pour répondre à la place JC Maurin, perso j'ai des doutes que j'explique ici de manière très simple. <https://www.facebook.com/notes/critique-climatique-qu%C3%A9bec/le-ridicule-ne-tue-pas-%C3%Aates-vous-certain/2217444201715827/>



20 juillet 2019 à 16 h 35 min

Éric
Ducharme

Monsieur JC Maurin, Très intéressant. Merci. Auriez-vous des commentaires à faire sur un petit travail que j'ai mis en lien ici. Il me semble que certains points rejoignent les vôtres, du moins pour les "métriques" que j'utilise. Merci. <https://www.facebook.com/notes/critique-climatique-qu%C3%A9bec/le-ridicule-ne-tue-pas-%C3%Aates-vous-certain/2217444201715827/>



20 juillet 2019 à 21 h 05 min

JC Maurin

Merci pour le lien vers vos propres réflexions sur le sujet.

1) Vous avez raison de dire que la connaissance sur les échanges de CO2 se résume surtout à la mesure du taux global depuis 1958 (duquel on déduit la variation annuelle) et à la quantité de CO2 émise annuellement par l'Homme. Cela est insuffisant pour conclure à la responsabilité exclusive de l'Homme.

2) La corrélation température/ variation annuelle du CO2 est bien un indice des phénomènes naturels qui sont en jeu. Ainsi que vous le remarquez, c'est évident lors des éléments El Nino.

3) Un léger désaccord avec vous lorsque vous écrivez : « tout le CO2 dans l'atmosphère est contrôlé par la température »

Il me semble qu'une partie (minoritaire), de la hausse est du fait de l'Homme. En revanche, pour ce qui est de la partie naturelle, elle est bien corrélée avec la température. La Figure 3b du présent article explicite mon point de vue.

4) De nombreuses personnes ont fait les mêmes remarques que vous : je vous invite à consulter les articles cités dans la référence 7, particulièrement ceux de J. Munshi, E. Berry , H. Harde et C. Veyres.



21 juillet 2019 à 19 h 36 min

Éric
Ducharme

Sans être certain que votre raisonnement de la fig 3b soit exactement comparable au mien, je me suis aperçu que mon raisonnement était faux. Je ne peux rien déduire en faisant la soustraction entre le taux d'accroissement mesurée et celui des émissions anthropiques et dire que la différence est de source naturelle. Le taux d'accroissement du CO2 atmosphérique est en fait le CO2 résiduel des échanges entre l'atmosphère et les autres réservoirs qui impliquent une quantité de CO2 beaucoup plus grande dans laquelle le CO2 anthropique ne représente qu'une fraction de 5%. J'ai corrigé mon texte.