

# Science, climat et énergie

Réflexions sur la science, le climat et l'énergie

## Le CO2 et le climat avec et sans effet de serre

🕒 6 août 2018    📁 atmosphère et CO2, climat, effet de serre    👤 Georges Geuskens

De tous temps les hommes se sont intéressés au climat et ont tenté de prévoir son évolution. Dès l'Antiquité il était connu que des caractéristiques géographiques comme la latitude mais aussi l'altitude ou le voisinage de vastes étendues d'eau avaient une grande influence sur le climat. Sur cette base les climatologues ont été amenés à distinguer différents types de climats tels que tropical, désertique, tempéré, polaire, etc. Ensuite, il est progressivement apparu que le climat est un système extrêmement complexe qui dépend de l'activité solaire ainsi que de la distance et de l'orientation de la Terre par rapport au Soleil, facteurs qui varient à des échelles de temps très différentes.

Mais depuis quelques dizaines d'années, et plus particulièrement depuis la création du GIEC en 1988 sous l'égide d'organisations internationales, le climat est envisagé globalement à l'échelle de la Terre entière sans tenir compte de particularités géographiques locales. De plus, des événements singuliers tels qu'ouragans, inondations ou sécheresses sont désormais imputés par certains climatologues à un changement climatique dont l'activité humaine serait responsable. Cette théorie du changement climatique d'origine anthropique qui a des conséquences politiques, économiques et sociales très importantes repose cependant sur une seule et fragile hypothèse : le CO<sub>2</sub> renverrait vers la Terre une partie du rayonnement qui devrait s'échapper vers le vide interplanétaire et il en résulterait une élévation de la température « moyenne globale » à la surface de la Terre. Ce phénomène radiatif improprement appelé « effet de serre » a des défenseurs et des adversaires entre lesquels le débat est souvent impossible. Il semble cependant qu'un consensus pourrait se dégager si on pouvait donner une base quantitative à certains phénomènes sur lesquels il y a accord d'un point de vue qualitatif.

### 1. A la recherche d'un consensus

On peut estimer que les scientifiques qui s'intéressent au climat, tant partisans qu'adversaires d'un changement climatique d'origine anthropique, s'accordent sur les points suivants :

- Le climat peut changer comme il l'a toujours fait et continuera à le faire ;
- Pour maintenir une température approximativement constante la Terre doit dissiper l'énergie reçue du Soleil et le bilan énergétique de la Terre doit tenir compte de différents mécanismes possibles ;
- Une partie de l'énergie est dissipée par la Terre sous forme de rayonnement thermique aussi qualifié de rayonnement du « corps noir » ;
- Certains gaz présents dans l'atmosphère, et notamment le CO<sub>2</sub>, peuvent absorber une fraction de ce rayonnement thermique.
- Le CO<sub>2</sub> ayant absorbé une fraction de ce rayonnement pourrait avoir une influence sur la température de la surface terrestre ou des basses couches atmosphériques.

Poser le problème en termes quantitatifs requiert la connaissance de quelques principes de physique et de plusieurs grandeurs qui sont mal connues et ne font l'objet que d'estimations souvent contestées. Pour progresser il est cependant indispensable d'accepter certaines estimations même incertaines. Nous les considé-

rerons alors comme hypothèses de base communes aux partisans et adversaires d'un changement climatique d'origine anthropique.

### a) Quantité d'énergie solaire reçue par la Terre au sommet de l'atmosphère

Au niveau de l'orbite terrestre chaque mètre carré placé perpendiculairement au rayonnement solaire reçoit, en moyenne sur l'année, une puissance de 1368 W, c'est la « constante solaire ». La valeur de 342 W m<sup>-2</sup> au sommet de l'atmosphère est basée sur l'idée que chaque mètre carré de la surface terrestre reçoit en continu le quart de 1368 W car la Terre n'intercepte le rayonnement solaire que sur une surface égale à celle d'un disque de même rayon. Cette valeur n'est pas mesurée mais calculée en admettant une distribution uniforme de l'énergie sur toute la surface terrestre sans tenir compte ni d'un hémisphère non éclairé, ni d'une variation en fonction de la latitude. De ce fait, elle est certainement surestimée mais une valeur correcte tenant compte de la vitesse de rotation de la Terre et de l'inclinaison de son axe de rotation donnerait lieu à des difficultés de calcul insurmontables. En attribuant à la Terre un albédo de 0,3 impliquant non seulement l'énergie réfléchi par la surface terrestre et par l'atmosphère mais aussi et principalement par les nuages, le rayonnement effectivement reçu par la surface terrestre serait alors réduit à 70 % de 342 W m<sup>-2</sup> soit environ 240 W m<sup>-2</sup>. Acceptons cette valeur comme une première hypothèse de base commune aux partisans et adversaires d'un changement climatique d'origine anthropique.

### b) Fraction d'énergie émise par la Terre sous forme de rayonnement thermique

Pour maintenir une température constante la Terre doit dissiper l'énergie reçue du Soleil par différents mécanismes : convection, évaporation de l'eau des océans et rayonnement thermique. Il subsiste une grande incertitude concernant l'importance relative de ces différents mécanismes mais le modèle le plus généralement admis est celui proposé par la NASA (voir [ici](#)). Selon la NASA 21 % de l'énergie reçue par la Terre au sommet de l'atmosphère seraient dissipés par rayonnement thermique, seul mécanisme susceptible de donner lieu à un « effet de serre ». L'évaporation de l'eau des océans et la convection de l'air interviendraient respectivement pour 23 % et 7 %. Ces proportions ne résultent pas de mesures mais d'estimations et surprennent car la convection est généralement le mécanisme prépondérant pour des objets à température et pression ambiantes tandis que le rayonnement thermique ne devient important qu'à haute température. Acceptons néanmoins le bilan thermique proposé par la NASA comme une deuxième hypothèse de base commune aux partisans et adversaires d'un changement climatique d'origine anthropique. Notons cependant que pour Sorokhtin et collaborateurs [1] la convection interviendrait pour 34 %, l'évaporation de l'eau des océans pour 13 % et le rayonnement thermique pour 4 % seulement. Finalement toute l'énergie dissipée par la surface terrestre (quel que soit le mécanisme) ou absorbée directement par l'atmosphère et les nuages est convertie en rayonnement dans les couches supérieures de l'atmosphère car c'est le seul mécanisme d'évacuation de cette énergie hors de l'atmosphère terrestre. En haute altitude les satellites détectent effectivement un rayonnement moyen de 240 W m<sup>-2</sup>, en accord avec le paragraphe **1a** ci-dessus, mais les valeurs locales peuvent varier de 122 W m<sup>-2</sup> au dessus de l'Antarctique à 265 W m<sup>-2</sup> au dessus de la Basse Californie avec une différence de l'ordre de 50 W m<sup>-2</sup> entre pôles et équateur. Ce rayonnement moyen provient essentiellement des couches supérieures de l'atmosphère à des températures beaucoup plus basses que la surface terrestre.

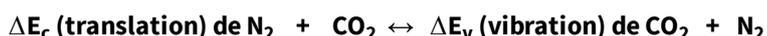
### c) Fraction du rayonnement thermique de la Terre absorbée par le CO<sub>2</sub>.

En admettant que la Terre se comporte comme un corps noir à la température de 288 K (15 °C) l'équation de Planck permet de calculer que 95 % du rayonnement thermique seraient compris entre 5 et 40 μm. Le CO<sub>2</sub> présente une bande d'absorption dans l'infrarouge centrée à 15 μm et on trouve, en intégrant l'équation de Planck dans le domaine de 14 à 16 μm, que 9,3 % du rayonnement thermique de la Terre est émis dans cet intervalle de longueurs d'onde. On en déduit que, quel que soit son coefficient d'absorption, le CO<sub>2</sub> ne pour-

rait absorber qu'un peu moins de 2 % (9,3 % de 21 %) de l'énergie totale reçue du Soleil au sommet de l'atmosphère, soit environ  $6 \text{ W m}^{-2}$  (voir [ici](#)). Acceptons cette valeur comme une troisième hypothèse de base commune aux partisans et adversaires d'un changement climatique d'origine anthropique. Remarquons cependant que les océans occupent 71 % de la surface terrestre et qu'il est difficile de les considérer comme corps noir puisque l'eau n'absorbe (et donc ne peut émettre) toutes les longueurs d'onde avec la même efficacité dans le domaine de 5 à  $40 \mu\text{m}$  ( $250$  à  $2000 \text{ cm}^{-1}$ ) comme l'indique la fig. 1.

#### d) Equilibre vibrationnel du CO<sub>2</sub> dans les basses couches atmosphériques

À la pression d'une atmosphère et à la température de  $15^\circ\text{C}$  les molécules de l'air sont animées de mouvements de translation à des vitesses de l'ordre de 500 m par seconde. Dans ces conditions chacune subit plusieurs milliards de collisions par seconde (voir [ici](#)). Si elles disposent de l'énergie suffisante elles peuvent aussi entrer en vibration avec variation rapide et périodique des longueurs ou des angles de leurs liaisons interatomiques. Les molécules biatomiques  $\text{N}_2$  et  $\text{O}_2$  sont très rigides et ne vibrent pratiquement pas à  $15^\circ\text{C}$ . Par contre, les molécules triatomiques de  $\text{CO}_2$ , linéaires à l'état fondamental  $\text{O}=\text{C}=\text{O}$ , peuvent se déformer facilement et devenir anguleuses en vibrant. L'énergie requise pour atteindre cet état de vibration peut être calculée à partir de la bande d'absorption détectée à  $15 \mu\text{m}$  dans le spectre infrarouge du  $\text{CO}_2$  grâce à la relation  $E_v = hc/\lambda$  (où  $h$  est la constante de Planck,  $c$  la vitesse de la lumière et  $\lambda$  la longueur d'onde du rayonnement absorbé, dans ce cas  $15 \mu\text{m}$ ). Cette valeur n'est que de 30 % supérieure à l'énergie cinétique moyenne des molécules environnantes  $\text{N}_2$  et  $\text{O}_2$  qui, d'après la théorie cinétique des gaz, vaut  $E_c = 5/2 k T$  (où  $k$  est la constante de Boltzmann et  $T$  la température en Kelvin). Or, beaucoup de molécules ont une énergie cinétique supérieure à cette valeur moyenne car les énergies cinétiques de translation  $E_t = mv^2/2$  présentent une large distribution continue qui suit la statistique de Maxwell-Boltzmann. La fonction mathématique correspondante permet de calculer qu'à  $15^\circ\text{C}$  plus de 40 % des molécules  $\text{N}_2$  et  $\text{O}_2$  ont suffisamment d'énergie cinétique pour amener les molécules de  $\text{CO}_2$  à leur plus bas niveau de vibration lors d'une collision inélastique (sans conservation de l'énergie cinétique). On admet généralement que 0,001 % des collisions sont inélastiques (voir [2c](#) ci-dessous) ce qui représente encore plusieurs dizaines de milliers par seconde. Dans ces conditions il y a conversion d'une fraction  $\Delta$  de l'énergie cinétique de translation des molécules  $\text{N}_2$  ou  $\text{O}_2$  en énergie de vibration du  $\text{CO}_2$  :



Cette conversion est réversible et les molécules de  $\text{CO}_2$  excitées se désactivent en quelques microsecondes pour retourner à l'état fondamental lors de nouveaux chocs avec les molécules environnantes qui, de ce fait, acquièrent temporairement un surcroît d'énergie cinétique de translation. Il existe donc un équilibre dynamique résultant des très nombreuses collisions. Il ne dépend que de la température et de la pression (par le biais de la distribution des énergies et du nombre de chocs entre molécules). Quoique ce ne soient pas toujours les mêmes molécules de  $\text{CO}_2$  qui vibrent la proportion de molécules en état de vibration reste constante à une température et une pression déterminées (environ 40% à  $15^\circ\text{C}$  et à la pression d'une atmosphère). Admettons le transfert d'énergie entre molécules de  $\text{CO}_2$  et molécules environnantes comme quatrième hypothèse de base commune aux partisans et adversaires d'un changement climatique d'origine anthropique.

À ce stade de la discussion si les quatre points ci-dessus font l'objet d'un large consensus entre partisans et adversaires d'un changement climatique d'origine anthropique leur divergence d'opinion pourrait donner lieu un véritable débat scientifique. Cette divergence d'opinion se manifeste fondamentalement à propos du mécanisme de désactivation des molécules de  $\text{CO}_2$  excitées par absorption d'une fraction du rayonnement thermique de la Terre. Envisageons successivement avec le maximum d'objectivité les arguments scientifiques présentés par les uns et les autres.

## 2. Influence du CO<sub>2</sub> sur le climat

Les partisans de la théorie du changement climatique d'origine anthropique invoquent à l'appui de leur thèse l'existence d'un « effet de serre » alors que leurs adversaires contestent cette hypothèse. Avant toute discussion il est essentiel d'en bien définir le sujet, en l'occurrence l'effet de serre.

### a) Définition de l'effet de serre

Il existe un grand nombre de définitions de l'effet de serre. Gerlich et Tschuschner en rappellent plus d'une demi-douzaine (voir paragraphe 3.3 [ici](#)) qui, pour la plupart, résultent d'une mauvaise compréhension du phénomène qui intervient réellement dans une serre agricole. Certains média destinés au grand public font appel à une analogie naïve en prétendant que les gaz à effet de serre entourent la Terre « comme une couverture » et l'empêchent de perdre sa chaleur. La seule définition de l'effet de serre qui décrit clairement le phénomène envisagé et répond, de plus, au critère de réfutabilité énoncé par Popper est la suivante :

*« L'effet de serre est un phénomène radiatif causé par des gaz tels la vapeur d'eau ou le CO<sub>2</sub> qui absorbent une fraction du rayonnement infrarouge émis par la Terre et le réémettent ensuite dans toutes les directions et notamment vers la surface terrestre dont la température serait, de ce fait, plus élevée qu'en l'absence de gaz absorbant l'infrarouge. Ces gaz sont dès lors qualifiés de gaz « à effet de serre ».*

Considérons cet énoncé comme une définition scientifique acceptable tant par les partisans que par les adversaires d'un changement climatique d'origine anthropique.

### b) Influence du CO<sub>2</sub> sur le climat avec effet de serre.

L'argument le plus souvent avancé par les partisans de la théorie du changement climatique d'origine anthropique est qu'en l'absence de gaz à effet de serre la température « globale moyenne » de la Terre serait de - 18°C au lieu de la température généralement admise de 15 °C. En réalité cette différence de 33 °C, parfois présentée même comme une définition de l'effet de serre, est basée sur un calcul incorrect. En effet, la température de - 18°C est obtenue en introduisant dans la formule de Stefan-Boltzmann la valeur de 240 W m<sup>-2</sup> mesurée par satellite (voir [1b](#) ci-dessus). Or, la formule de Stefan-Boltzmann n'est valable que si le rayonnement thermique est le seul mécanisme d'échange énergétique (voir [ici](#)). Cette valeur de - 18°C correspondrait donc à une Terre sans atmosphère et non sans gaz à effet de serre. Mais sans atmosphère l'albédo de la Terre serait voisin de 0,1 (comme celui de la Lune) et non 0,3 valeur due largement à la présence de nuages (voir [1a](#) ci-dessus). Avec un albédo de 0,1 la quantité d'énergie reçue par la Terre en provenance du Soleil puis réémise serait 308 W m<sup>-2</sup> et non 240 W m<sup>-2</sup>. L'application, justifiée cette fois, de la formule de Stefan-Boltzmann conduirait à une température de 271 K (soit - 2°C) pour une Terre sans atmosphère. La différence de 17°C entre cette valeur théorique et la température « moyenne globale » de la Terre est due à la présence d'une atmosphère.

Dans le cas d'un gaz parfaits à l'équilibre hydrostatique, la thermodynamique de l'atmosphère ([www.lmd.jussieu.fr/~fcodron/COURS/notes\\_thermo.pdf](http://www.lmd.jussieu.fr/~fcodron/COURS/notes_thermo.pdf)) conduit à la relation :

$$dQ = C_p dT + g dh$$

où  $C_p$  est la capacité thermique massique de l'air et  $g$  l'accélération due à la pesanteur

En absence d'échange avec l'environnement  $dQ = 0$  d'où  $dT = - g/C_p .dh$  et en intégrant on trouve :

$$T - T_0 = - (g / C_p) (h - h_0)$$

Dans cette formule  $h_0$  est une altitude de référence où la température vaut  $T_0$ . Le facteur  $g/C_p$  est appelé gradient adiabatique (« lapse rate » en anglais). Cette formule indique que la température diminue linéairement lorsque l'altitude augmente. Avec  $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$  et  $C_p = 1005 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$  pour l'air sec on trouve un gradient adiabatique de  $9,75 \text{ K/km}$ , ordre de grandeur généralement admis en atmosphère sèche. La capacité thermique massique de l'air humide étant plus élevée le gradient adiabatique sera plus faible et dépendra de la température. Une valeur « environnementale moyenne » de  $6,5 \text{ K/km}$  est prise en compte par l'International Civil Aviation Organization (ICAO). Sur cette base en prenant la température de  $15^\circ \text{ C}$  comme référence au niveau de la mer on calcule que la température souvent citée de  $-18^\circ \text{ C}$  serait atteinte à une altitude de  $5100 \text{ m}$ . La différence de  $33^\circ \text{ C}$  observée par rapport à  $15^\circ \text{ C}$  est évidemment due à la pression atmosphérique et ne peut être considérée comme la manifestation d'un effet de serre.

La présence d'une atmosphère ne réchauffe évidemment pas la Terre. Ce sont les basses couches atmosphériques qui sont réchauffées au contact du sol chauffé par le Soleil et le gradient adiabatique fait que l'air se refroidit progressivement avec l'altitude donnant lieu à un courant de convection. Cet effet ne dépend en rien de la présence d'un peu de CO2 dans l'air.

Si les 2 % de l'énergie solaire absorbés par le CO<sub>2</sub> à partir du rayonnement thermique de la Terre (voir [1c](#) ci-dessus) sont réémis dans toutes les directions il n'y en aurait pas plus de la moitié qui atteindrait la surface terrestre soit environ  $3 \text{ W m}^{-2}$ . Pour fixer un ordre de grandeur rappelons qu'un être humain au repos dissipe  $60$  à  $100 \text{ W}$  sous forme de chaleur. L'augmentation de température due à un éventuel effet de serre serait donc bien inférieure à celle résultant de la présence d'un être humain occupant une surface d'un mètre carré. Encore faudrait-il que la surface terrestre puisse réabsorber spécifiquement le rayonnement de longueur d'onde  $15 \mu\text{m}$  d'abord émis par la surface terrestre puis absorbé par le CO<sub>2</sub> et finalement réémis. Ce serait en contradiction avec l'hypothèse que la Terre se comporte comme un corps noir (ou gris) qui, à l'équilibre thermique, ne peut pas absorber plus d'énergie qu'il n'en émet (voir [ici](#)). On pourrait objecter que les océans qui occupent 71 % de la surface terrestre ne se comportent pas comme un corps noir (ou gris). En effet, l'eau liquide présente une large bande d'absorption centrée à  $14,8 \mu\text{m}$  ( $675 \text{ cm}^{-1}$ ). Connaissant le coefficient d'absorption de cette bande (voir fig. 1) on peut calculer que l'absorption d'un rayonnement de longueur d'onde  $15 \mu\text{m}$  serait pratiquement totale sur une épaisseur de  $15 \text{ microns}$ . L'absorption d'énergie par cette couche très superficielle ne pourrait évidemment contribuer au réchauffement des océans.

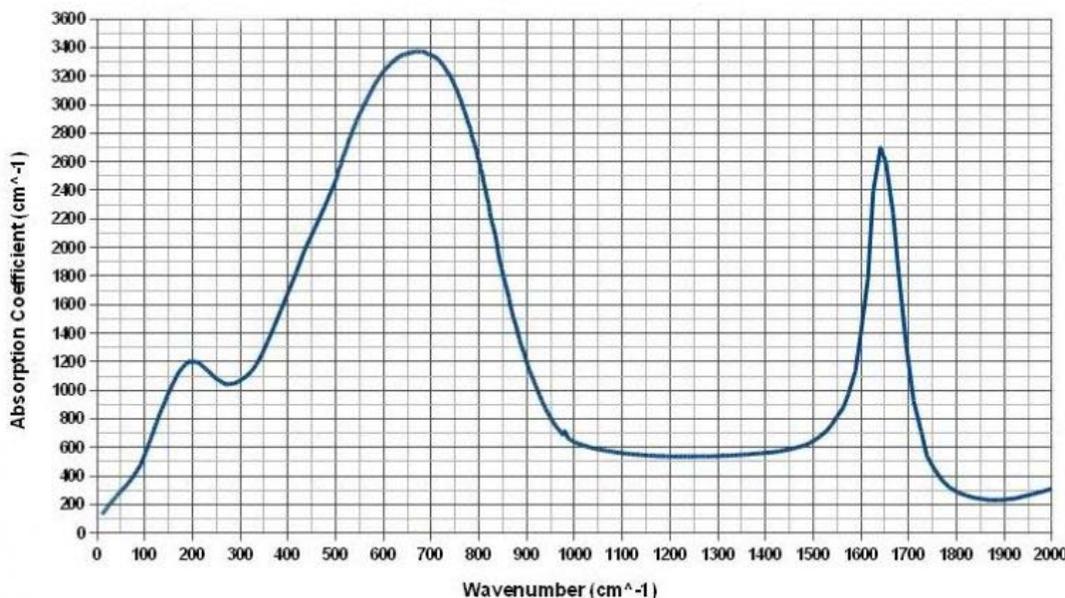


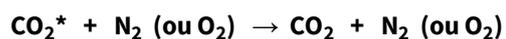
Fig. 1 Spectre d'absorption de l'eau liquide dans le domaine de l'infrarouge thermique

On peut en conclure que l'effet de serre, s'il existait, ne pourrait conduire à un réchauffement de la surface terrestre émergée mais seulement à un léger accroissement du mécanisme de dissipation de l'énergie par évaporation de l'eau des océans au détriment du rayonnement thermique.

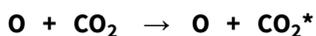
### c) Influence du CO<sub>2</sub> sur le climat sans effet de serre

Le principal argument qui conduit à réfuter la théorie de l'effet de serre est que la probabilité de désactivation radiative du CO<sub>2</sub> ayant absorbé une fraction du rayonnement thermique de la Terre est pratiquement nulle car l'équilibre vibrationnel mentionné en **1d** ci-dessus ne dépend que de la température et de la pression. La fraction de molécules à l'état de vibration restera donc voisine de 40 % à des pressions voisines d'une atmosphère et à la température de 15 °C, quelle que soit la quantité d'énergie absorbée à partir du rayonnement thermique de la Terre car cet apport d'énergie supplémentaire sera rapidement converti en énergie de translation des molécules environnantes.

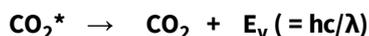
La conversion d'énergie de vibration en énergie de translation (**V** → **T**) est un phénomène bien connu dont l'étude s'est développée grâce aux progrès de la technologie laser permettant d'obtenir sélectivement différents états de vibration [2]. En particulier la désactivation par collisions de molécules de CO<sub>2</sub> à leur plus bas niveau énergétique de vibration (notées CO<sub>2</sub><sup>\*</sup>) a été bien étudiée et les constantes de vitesse de la réaction :



ont été mesurées entre 300 et 140 K [3]. Elles sont de l'ordre de 10<sup>5</sup> fois inférieures à ce que l'on aurait pu prévoir sur la base du nombre total de collisions (plusieurs milliards par seconde) car elles résultent seulement des collisions inélastiques qui ne représentent, en général, que 0,001 % du nombre total de collisions. D'autre part, la conversion inverse d'énergie de translation en énergie de vibration (**T** → **V**) a aussi été étudiée dans le cas du CO<sub>2</sub>. A des altitudes de l'ordre de 100 km l'énergie de translation d'atomes d'oxygène peut être transférée à des molécules de CO<sub>2</sub> et convertie en énergie de vibration [4] :



A cette altitude la pression est si faible que le nombre de collisions entre molécules n'est plus que de l'ordre de 1000 par seconde et une fraction des molécules de CO<sub>2</sub><sup>\*</sup> peut alors se désactiver avec émission d'un rayonnement de longueur d'onde  $\lambda = 15 \mu\text{m}$  :



On attribue à cette réaction un effet de refroidissement de l'atmosphère par conversion d'énergie cinétique en rayonnement [5].

Ces exemples confirment qu'à 15° C et à des pressions voisines d'une atmosphère les molécules de CO<sub>2</sub> en état de vibration se désactiveront par collisions avec les molécules environnantes comme mentionné au paragraphe **1d** ci-dessus. Dans ces conditions régnant à la surface de la Terre l'effet de serre ne peut avoir lieu. La désactivation radiative d'un état excité ne peut entrer en compétition avec la désactivation par collisions que pour des états excités de très courte durée de vie (10<sup>-9</sup> à 10<sup>-7</sup>s) qui peuvent émettre un rayonnement avant qu'une collision inélastique ne se produise. C'est le cas de nombreuses molécules organiques complexes dont la fluorescence est observée en solution. La désactivation radiative est aussi possible si la fréquence des collisions intermoléculaires est très faible (en milieu gazeux à très faible pression comme dans

l'exemple ci-dessus ou en milieu vitreux rigide). Ces résultats permettent de conclure que les molécules de CO<sub>2</sub> excitées à l'état de vibration par absorption d'une fraction du rayonnement thermique de la Terre se désactiveront selon le mécanisme mentionné au paragraphe **1d** ci-dessus et l'apport d'énergie supplémentaire sera rapidement converti en énergie de translation des molécules environnantes ce qui aura pour effet d'augmenter les mouvements de convection qui contribuent à dissiper l'énergie solaire absorbée par la surface terrestre.

### 3. Conclusion

De cet exposé on peut conclure que l'effet de serre, tel que défini en **2a** ci-dessus, n'existe pas au niveau des basses couches atmosphériques et que, même s'il existait, l'apport d'énergie résultant de l'absorption d'une fraction du rayonnement thermique de la Terre serait rapidement converti en évaporation de l'eau des océans. Par contre, en l'absence d'effet de serre ce sont les mouvements de convection de l'air qui sont légèrement accentués. Dans l'un et l'autre cas le bilan énergétique global de la Terre ne sera pas modifié puisque finalement toute l'énergie dissipée par la surface terrestre, quel que soit le mécanisme, est convertie en rayonnement dans les couches supérieures de l'atmosphère car c'est le seul mécanisme d'évacuation de cette énergie hors de l'atmosphère terrestre (voir **1b** ci-dessus). L'improbable débat entre partisans et adversaires d'un changement climatique d'origine anthropique pourrait donc être rapidement clôturé puisque le CO<sub>2</sub> ne peut contribuer en aucune manière à un réchauffement de la surface terrestre.

[1] O.G. Sorokhtin, G.V. Chilingar et L.F. Khilyuk « *Global Warming and Global Cooling* » ed. Elsevier Science (2007)

[2] G.W. Flynn, C.S. Parmenter, A.M. Wodtke, *J.Phys.Chem.* **100**, 12817 (1996)

[3] R.M. Siddles, G.J. Wilson, C.J.S.M Simpson, *Chem.Phys.* **189**, 779 (1994)

[4] K.J. Castle, K.M. Kleissas, J.M. Rhinehart, E.S. Hwang, J.A.Dodd, *J.Geophys. Research* **111**, A09303 (2006)

[5] K.J. Castle, L.A. Black, M.W. Simione, J.A. Dodd, *J.Geophys. Research* **117**, A04310 (2012)

(Visited 2 646 times, 1 visits today)

 Post Views: 6 441

*A propos Georges Geuskens*

Professeur émérite de l'Université Libre de Bruxelles (ULB) Voir tous les articles de Georges Geuskens →

*39 réflexions au sujet de « Le CO2 et le climat avec et sans effet de serre »*



13 octobre 2018 à 18 h 43 min

Mermillon

Monsieur,

J'ai lu avec intérêt votre article dont j'espère avoir compris l'essentiel malgré des connaissances de physique déjà anciennes. Avez-vous publié votre article dans une revue scientifique ?

Merci.

Jean Mermillon



17 octobre 2018 à 10 h 19 min

★ Georges  
Geuskens

Non, je n'ai pas publié ce texte dans une revue scientifique car je n'ai fait qu'appliquer certains principes de base de chimie et de physique à des données déjà publiées par d'autres auteurs. Cela me permet de conclure que les prévisions alarmistes du GIEC quant au prétendu changement climatique d'origine anthropique ne sont pas fondées.



14 octobre 2018 à 21 h 58 min

Courty

Bonsoir

Merci pour cet article très intéressant sur la quantification de l'effet de serre sur le climat. Pouvez vous m'éclairer en me disant pourquoi la communauté scientifique internationale ne partage pas la même conviction ; une démonstration scientifique en est une ou n'est pas. Je ne comprends pas qu'au 21eme siècle on puisse en être là! Alors que sur beaucoup de sujets scientifiques complexes on arrive à un consensus majoritaire. Comment le GIEC et les scientifiques des presque 300 pays de la COP peuvent ils soutenir qu'il y a bien un effet de serre du CO2 !!

Un grand merci à vous si vous pouvez me répondre .

J'attends votre réponse avec interet et impatience.

Bien cordialement

Jean-Claude Courty



17 octobre 2018 à 10 h 17 min

★ Georges  
Geuskens

Une très large fraction de l'opinion scientifique internationale s'oppose aux déclarations alarmistes du GIEC. L'opposition se manifeste moins en Europe qu'aux Etats-Unis car la plupart des gouvernements européens ont adopté la théorie du changement (jadis réchauffement) climatique d'origine anthropique, soutenus par différents groupes de pression aux intérêts parfois divergents. Le problème est

désormais devenu politique et la science peine à se faire entendre.



26 février 2019 à 13 h 32 min

Bonjour, avez vous des noms de scientifiques opposés au GIEC? Merci.

Matt.



26 février 2019 à 19 h 35 min

★ Georges  
Geuskens

Je vous invite à consulter le site [https://www.wikiberal.org/wiki/Liste\\_de\\_scientifiques\\_sceptiques\\_sur\\_le\\_r%C3%A9chauffement\\_climatique](https://www.wikiberal.org/wiki/Liste_de_scientifiques_sceptiques_sur_le_r%C3%A9chauffement_climatique)

Vous trouverez aussi beaucoup d'informations intéressantes sur le site <https://belgotopia.com>



18 octobre 2018 à 15 h 54 min

Murps

Bonjour,  
bravo et merci pour cette analyse, très claire pour ceux qui connaissent "un peu" la physique.

J'ai toujours été surpris de constater qu'en climatologie, les auteurs pouvaient s'affranchir d'un certain nombre de règles de bons sens et de rigueur qui sont indispensables à la pratique scientifique. Cela remet les pendules à l'heure. Malheureusement, ce n'est pas à partir d'une poignée de petits articles que l'on sortira de cette hystérie environnementaliste.  
Cdlt



18 octobre 2018 à 18 h 40 min

★ Georges  
Geuskens

Merci pour votre commentaire. Le climat est un système extrêmement complexe qui rend toute prévision à long terme impossible (voir les théories du chaos). Peu de gens le comprennent mais les médias raffolent du sujet au point d'influencer le public (et les décideurs politiques) plus efficacement que les scientifiques. Ne perdons pas l'espoir : l'histoire des sciences regorge de théories absurdes qui ont mis des années et parfois des siècles avant de s'effondrer.





1 novembre 2018 à 9 h 21 min

Luel

Monsieur, pourquoi ne faites vous aucune allusion au fait que la vapeur d'eau, presente dans l'atmosphere en quantites largement superieures au CO2, absorbe la radiation de chaleur dans les memes longueurs d'ondes que le CO2, et prive le CO2 de l'essentiel de la possibilite description? Est ce que cette assertion est exacte?



2 novembre 2018 à 17 h 42 min

★ Georges Geuskens

Vous avez raison de dire que de tous les constituants atmosphériques susceptibles d'absorber le rayonnement thermique de la Terre la vapeur d'eau est le plus important à la fois par sa concentration plus élevée et par son pouvoir d'absorption plus important. Sa contribution à cette absorption varie entre 65 et 95 % selon les conditions locales. Vous signalez aussi que l'absorption due à la vapeur d'eau interfère avec l'absorption due au CO2. Il est difficile, en effet, de déterminer la contribution de ce dernier. C'est pourquoi je précise (au paragraphe 1c de l'article) que le CO2, quel que soit son coefficient d'absorption (et en l'absence d'interférence avec d'autres constituants atmosphériques), ne pourra absorber au maximum que 2 % de l'énergie reçue par la Terre au sommet de l'atmosphère. Les molécules H2O amenée à l'état de vibration par absorption d'une fraction du rayonnement thermique de la Terre ne peuvent pas plus donner lieu à un effet de serre que les molécules de CO2. Comme ces dernières elles ne se désactivent PAS avec émission d'un rayonnement mais par collisions avec conversion de leur énergie de vibration en énergie de translation des molécules environnantes (principalement N2 et O2). L'eau à la fois sous les états solide, liquide et gazeux a une influence considérable sur le climat mais cet aspect du problème n'a rien à voir avec l'effet de serre.



27 février 2019 à 14 h 51 min

Bernard Bachelart

Bonjour,

Merci pour ces explications très instructives, en particulier pour ce qui est de la transformation d'énergie vibratoire en énergie cinétique et vice-versa, point essentiel et jamais abordé par les apôtres du catastrophisme climatique.

Le centre de tout modèle me paraît devoir être la façon dont la Terre réémet l'énergie absorbée dans ses divers composants (surface, atmosphère et nuages), en particulier lorsque la concentration de CO2 augmente.

Vous démontrez que l'altitude de réémission se situe aux environs de 100 km, en fonction du temps de désactivation de la molécule de CO2. En toute logique, l'augmentation du taux de CO2 devrait augmenter l'émission d'infrarouges à ce niveau.

Les modèles validés du GIEC situent beaucoup plus bas l'altitude d'émission, en fonction de la possibilité du rayonnement infrarouge de s'échapper vers l'espace sans être intercepté par les gaz à effet de serre. Dès lors que la concentration en gaz "à effet

de serre" augmente, ladite altitude s'élève, ce qui, du fait du gradient de température atmosphérique, freine l'émission infrarouge.

Bref, en tenant compte du délai de désactivation du CO<sub>2</sub>, on devrait conclure que l'augmentation de sa concentration accélère l'émission d'infrarouges vers l'espace, alors que si on n'en tient pas compte, l'augmentation de sa concentration devrait freiner l'émission d'infrarouges vers l'espace.



27 février 2019 à 21 h 32 min

★ Georges  
Geuskens

La fluorescence du CO<sub>2</sub> a été observée à des altitudes de l'ordre de 100 km et l'augmentation de sa concentration devrait effectivement accentuer le phénomène mais le CO<sub>2</sub> ne peut absorber au maximum que 1,3 à 7 W/m<sup>2</sup> (selon les auteurs) de l'énergie reçue par la Terre au sommet de l'atmosphère. Il ne pourrait donc contribuer que pour 0,5 à 3 % au 240 W/m<sup>2</sup> détectés par satellites à des altitudes de l'ordre de 800 km. Le fonds du problème reste de comprendre comment (même en l'absence de CO<sub>2</sub>) l'énergie dissipée initialement par convection et évaporation de l'eau des océans est convertie en rayonnement dans les hautes couches atmosphériques. Jusqu'à présent la seule explication proposée est que l'ensemble des constituants atmosphériques émettent un rayonnement thermique conforme à la courbe de Planck à des niveaux caractéristiques d'émission situés entre 10 et 20 km d'altitude.



28 février 2019 à 18 h 24 min

Bernard  
Bachelart

Merci pour ce complément d'information !



13 mars 2019 à 20 h 36 min

Doyrel

Il me paraît certain (cf Kirchoff 1856) que les gaz ne peuvent émettre ou absorber un rayonnement que selon un spectre de raies et en aucune façon selon un spectre continu type Planck.

Le seul corps, dans l'atmosphère, qui peut émettre selon un spectre continu est l'eau liquide, c'est à dire les nuages.

Vous mentionné une fluorescence du CO<sub>2</sub>, de quoi s'agit-il ?

Sur les spectres de rayonnement de la terre relevés par satellites, on voit clairement l'absorption du CO<sub>2</sub>, mais on ne voit jamais de raies d'émission !

JM



14 mars 2019 à 11 h 34 min

★ Georges  
Geuskens

Merci pour votre commentaire.

On appelle fluorescence le rayonnement émis lors de la désactivation radiative d'un état excité. Selon la définition couramment admise de l'effet de serre (rappelée dans la note) le CO<sub>2</sub> ayant absorbé une fraction du rayonnement thermique émis par la Terre se désactiverait avec émission d'un rayonnement de longueur d'onde centrée à 15 μm : ce serait, par définition, de la fluorescence. Cependant je montre que cela ne se produit pas dans les basses couches atmosphériques. Comme vous le précisez d'ailleurs "Sur les spectres de rayonnement de la terre relevés par satellites, on voit clairement l'absorption du CO<sub>2</sub>, mais on ne voit jamais de raies d'émission". Vous avez raison aussi d'écrire "que les gaz ne peuvent émettre ou absorber un rayonnement que selon un spectre de raies et en aucune façon selon un spectre continu type Planck".



sylvain42

10 mars 2019 à 10 h 24 min

Il me semble qu'il y a une incohérence dans la partie 2b. Si l'atmosphère possède bien une énergie  $E_a$  correspondant à la différence entre la température théorique de la terre-corps-noir et la température effective de la terre, elle ne devrait permettre à la Terre-corps-noir de se réchauffer qu'en lui \*transmettant\* cette énergie. Pour toute augmentation d'1 °C de la terre respectant la loi  $Q = cm \Delta T$ , il faut que l'atmosphère perde une énergie  $E_a - E_a' = Q$ , par conservation de l'énergie, non ?

★ Georges  
Geuskens

11 mars 2019 à 10 h 56 min

Dans le paragraphe 2b auquel vous faites allusion je veux montrer que si l'effet de serre existait (mais cette hypothèse est réfutée dans le paragraphe 2c) il ne pourrait avoir une influence significative sur la température de la surface terrestre ou des basses couches atmosphériques. En effet, en admettant que les parties émergées de la Terre se comportent comme un corps noir elles ne pourraient absorber le rayonnement de longueur d'onde 15 μm qui serait réémis par le CO<sub>2</sub> puisqu'à l'équilibre thermique un corps noir ne peut absorber plus d'énergie qu'il n'en émet. L'absorption de ce rayonnement ne serait possible que par les océans. Connaissant le coefficient d'absorption de l'eau on peut calculer que l'absorption d'un rayonnement de longueur d'onde 15 μm serait pratiquement totale sur une épaisseur de 15 microns. Cela ne pourrait évidemment contribuer de manière significative au réchauffement de la planète. C'est pourquoi les partisans d'un réchauffement climatique d'origine anthropique font appel à des rétroactions positives pour amplifier cet effet. On peut faire intervenir, par exemple, la vapeur d'eau, autre gaz à « effet de serre », dont la concentration augmenterait suite à l'élévation de température ou la fonte de la banquise et la diminution des surfaces enneigées qui auraient pour effet de diminuer l'albédo de la Terre et donc la

fraction d'énergie solaire réfléchi. Il est évident que l'intervention de multiples rétroactions permet l'introduction de nombreux paramètres ajustables dans différents modèles climatiques globaux pour aboutir au résultat recherché. Voir <http://www.science-climat-energie.be/2018/04/10/forcage-radiatif-sensibilite-climatique-et-retroactions-positives/>



11 mars 2019 à 21 h 36 min

sylvain42

oui, tout ça y est effectivement expliqué. Je reviendrai sur "... puisqu'à l'équilibre thermique un corps noir ne peut absorber plus d'énergie qu'il n'en émet" parce que ça me semble contre-intuitif, mais je dois relire un peu la théorie d'abord. Malheureusement, tout ça n'éclaire en rien le dilemme sur l'utilisation de l'énergie de l'atmosphère pour combler les watts manquant pour atteindre les 15°C de température moyenne pour la planète.



12 mars 2019 à 15 h 46 min

★ Georges Geuskens

Si, comme on le suppose, les parties émergées de la Terre se comportent comme un corps noir, à l'équilibre thermique elles doivent réémettre tout rayonnement absorbé (voir <http://www.science-climat-energie.be/2018/04/26/du-bon-usage-de-la-formule-de-stefan-boltzmann/>) et ne peuvent donc réabsorber la fraction du rayonnement thermique d'abord absorbé qui serait ensuite réémis par le CO2 (si l'effet de serre existait).

La température à la surface de la Terre est la somme de deux contributions :  
1° L'apport d'énergie en provenance du Soleil est la contribution prépondérante puisque en son absence la température à la surface de la Terre serait 3 K, température du vide interstellaire.

2° La pression atmosphérique apporte également une contribution puisque en son absence la température à la surface de la Terre, bien que réchauffée par le Soleil, ne serait que 271 K (soit - 2°C). La différence de 17°C entre cette valeur théorique et la température « moyenne globale » de la Terre est due à la présence d'une atmosphère.

La formule  $T - T_0 = -6,5 \text{ K/km} (h - h_0)$  donnée dans le texte permet de calculer qu'avec  $T_0 = -56,5 \text{ °C}$  pour  $h_0 = 11 \text{ km}$  (valeur expérimentale à la limite de la troposphère) la température à la surface la Terre serait bien 15°C.



12 mars 2019 à 21 h 56 min

Ce modèle conduit effectivement à une température de 15°C pour \*l'atmosphère\* à la

sylvain42

surface, mais la surface, elle, sera toujours à une température de  $-2^{\circ}\text{C}$  en moyenne. Par leur contact, j'imagine que l'atmosphère devrait donc se refroidir tandis que la planète se réchauffe jusqu'à ce que  $T_{\text{atmosphère}} = T_{\text{planète}}$ . Or les valeurs de coefficient calorifique de l'air et des roches — ainsi que la masse d'atmosphère chaude et de planète froide dans ce scénario — semble en très nette défaveur pour l'atmosphère. Merci d'avoir pris le temps de tout reparcourir, mais on dirait bien que l'incohérence persiste.

Il y a un deuxième soucis à ce modèle, en tout cas si j'ai bien raison de penser que la troposphère contient environ 98% de la masse totale de l'atmosphère: comment expliquer que la température à 11000km soit de  $-56^{\circ}$ ? Il n'y a plus assez de masse de gaz au-dessus d'elle pour l'élever aussi fort au-dessus des  $3^{\circ}\text{K}$  du vide spatial, et elle est essentiellement transparente à la majorité du spectre solaire — donc j'imagine incapable d'être chauffée directement par le rayonnement solaire.



13 mars 2019 à 16 h 09 min

★ Georges  
Geuskens

J'essaye de répondre brièvement à vos commentaires.

1° La température théorique de  $-2^{\circ}\text{C}$  n'a évidemment jamais été mesurée. Elle est basée sur des approximations et des estimations introduites dans le bilan énergétique de la Terre et ne sert qu'à fixer un ordre de grandeur.

2° On admet que la température « globale moyenne » à l'interface Terre-atmosphère est  $+15^{\circ}\text{C}$ . Lorsque l'altitude augmente la pression diminue (effet de la force gravitationnelle) et la température aussi (l'énergie cinétique des molécules diminue) jusqu'à la tropopause puis elle augmente à nouveau suite à différentes réactions chimiques dans la stratosphère (qui n'est pas transparente au rayonnement solaire). Pour plus d'informations sur la structure de l'atmosphère voir [https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re\\_terrestre](https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re_terrestre) avec de sérieuses réserves concernant l'évolution du taux de CO2.

3° Les basses couches atmosphériques (plus froides) ne peuvent transférer de la chaleur à la Terre (plus chaude) car ce serait contraire au second principe de la thermodynamique universellement admis depuis 200 ans.



13 mars 2019 à 21 h 50 min

sylvain42

ça me semblerait en effet beaucoup plus cohérent avec le reste de mes connaissances: la Terre qui chauffe l'atmosphère qui l'entoure et lui confère de ce fait une énergie calorifique potentielle, et l'atmosphère qui a un effet "isolant" par rapport au vide spatial et réduit la vitesse avec laquelle la Terre peut dissiper sa chaleur par rayonnement.

Le gradient de température de l'atmosphère étant du coup le résultat de la diminution de pression avec l'altitude (éventuellement combiné à une réduction de l'intensité des radiations infra-rouge au fur et à mesure qu'on

s'éloigne de la surface).



14 mars 2019 à 11 h 22 min

Je suis heureux que nous soyons arrivés à nous comprendre.

★ Georges  
Geuskens



sylvain42

15 mars 2019 à 9 h 56 min

cependant, le point 3 de <http://www.science-climat-energie.be/2018/08/06/le-co2-et-le-climat-avec-et-sans-effet-de-serre/#comment-1624> ("l'atmosphère ne peut réchauffer la terre") me semble toujours en contradiction directe avec le point 2 de <http://www.science-climat-energie.be/2018/08/06/le-co2-et-le-climat-avec-et-sans-effet-de-serre/#comment-1624> ("La pression atmosphérique apporte également une contribution puisque en son absence la température à la surface de la Terre")



16 mars 2019 à 12 h 49 min

★ Georges  
Geuskens

La température théorique « globale moyenne » de  $-2^{\circ}\text{C}$  qu'aurait la Terre en l'absence d'atmosphère est calculée, par application de la formule de Stefan-Boltzmann, sur la base du modèle simpliste (mais généralement admis) envisageant une répartition constante et uniforme de l'énergie solaire sur la surface de la Terre. En réalité, en l'absence d'atmosphère, la température de la surface terrestre serait bien plus élevée pendant le jour et bien plus basse pendant la nuit. Cet effet est encore plus marqué sur la Lune dont la période de révolution est env. 27 fois plus longue que celle de la Terre.

On admet que la température « globale moyenne » de la surface terrestre est de  $+15^{\circ}\text{C}$  comme la température des basses couches atmosphériques à son contact. Le gradient thermique moyen de  $6,5\text{ K/km}$  (dû à la force gravitationnelle) fait de la convection le principal mécanisme de dissipation par la Terre de l'énergie reçue du Soleil.



15 mars 2019 à 14 h 10 min

Bonjour Monsieur,

Christian  
Coppe

J'étais à la recherche d'articles d'auteurs qui auraient tenté de démontrer la présence (en cas d'"effet de serre") ou l'absence (selon votre écrit) de fluorescence à 15µm dans l'atmosphère. Je n'ai malheureusement plus accès à la littérature scientifique, et c'est un peu compliqué. Je suis néanmoins tombé sur cet article : [https://ams.confex.com/ams/Annual2006/techprogram/paper\\_100737.htm](https://ams.confex.com/ams/Annual2006/techprogram/paper_100737.htm) (l'article complet est le lien indiqué vers un PDF).

Les auteurs, qui ont orienté un spectro IR vers le ciel, observent bien une émission à 15µm... Quoique la partie expérimentale me semble un peu floue, ce résultat interpelle. Serait-il possible, vu que l'installation ne me semble pas très sophistiquée, que le rayonnement observé provienne de la haute atmosphère, à 100 km ? Il me semble dommage que les auteurs n'aient pas, par exemple, placé une plaque refroidie à l'azote liquide, 1 ou 2 mètres au dessus du détecteur. Qu'en pensez-vous ? Existe-t-il d'autres références expérimentales en la matière ?

Merci d'avance pour votre réponse.



15 mars 2019 à 16 h 36 min

★ Georges  
Geuskens

Merci pour votre commentaire et la référence que je ne connaissais pas. Les résultats me surprennent beaucoup car, d'après le tableau 2 de cet article, l'intensité du rayonnement « downward » attribué au CO2 serait de 26 W/m<sup>2</sup> et même, d'après le tableau 3a, de 34,7 W/m<sup>2</sup>. Selon l'estimation la plus favorable basée sur le bilan de la NASA, le CO2 ne pourrait absorber au maximum, quel que soit son coefficient d'absorption, plus de 7 W/m<sup>2</sup> en provenance de la Terre. Comment pourrait-il émettre plus qu'il n'a absorbé ? Je suis surpris également par le fait que ce rayonnement n'ait pas été absorbé par le CO2 des basses couches atmosphérique puisque l'absorption devrait être pratiquement totale sur une épaisseur de 10 m environ. Je n'ai pas d'explication à ces résultats et je n'en connais pas d'autres obtenus dans des conditions semblables.



15 mars 2019 à 17 h 01 min

Christian  
Coppe

Merci pour votre réponse. La valeur m'a également semblé fort élevée. J'ai l'impression (mais ce n'est qu'une impression) que la méthode manque de validation, notamment l'absence de l'enregistrement d'un blanc, même s'ils mentionnent quelque chose d'approchant, sans trop le montrer. Je déplore le fait que votre approche manque de confirmation expérimentale, qui ne devrait pas être insurmontable à faire, me semble-t-il. S'il est toujours plus compliqué de prouver l'absence de quelque chose, il me semble que les tenants du réchauffement anthropique devraient être intéressés par une confirmation expérimentale de leur effet de serre. Ou alors, comme ils n'ont rien vu, ils préfèrent ne rien publier ? Je continue à chercher.



17 mars 2019 à 15 h 40 min

★ Georges  
Geuskens

Vous écrivez “Je déplore le fait que votre approche manque de confirmation expérimentale” et ensuite vous précisez “il est toujours compliqué de prouver l’absence de quelque chose”. Il me semble que mes arguments sont basés sur des théories scientifiques bien établies et que ce serait aux partisans de l’hypothèse de l’effet de serre de proposer une confirmation expérimentale.



8 mai 2019 à 11 h 45 min

Georges  
MALAKOFF

Si ça peut vous aider, on retrouve une courbe analogue à la figure 3. dans ce rapport (\*) à la page 19/31.

Les ordres de grandeurs du maximum de la courbe à  $700\text{cm}^{-1}$  (nombre d’onde) sont comparables:

$1.2\text{E-}5\text{ W}/(\text{cm}^2\text{ sr cm}^{-1})$  (Peterborough novembre 98) pour la figure 3

$140\text{ mW}/(\text{m}^2\text{ sr cm}^{-1})$  (Nauru juin 98) rapport Happer page 19/31

(\*) Saisi de la plainte déposée en septembre 2017 par les villes de San Francisco et Oakland contre cinq compagnies pétrolières, le juge Fédéral William Alsup avait ordonné aux parties de lui présenter sous forme d’un didacticiel “les meilleures informations scientifiques disponibles actuellement sur le réchauffement climatique”.

William Happer, Steven E. Koonin et Richard Lindzen rédigèrent ce dossier.

<http://co2coalition.org/wp-content/uploads/2018/03/Happer-Koonin-Lindzen.pdf>



9 mai 2019 à 11 h 16 min

★ Georges  
Geuskens

Merci pour votre commentaire et pour la référence dans laquelle on peut lire à la page 12, en accord avec mes notes :

“CO2 molecules radiate very slowly, requiring about a second to lose energy by emitting a quantum of infrared radiation. But a CO2 molecule can also lose energy in nearly every collision that it has with an N2 or O2 molecule; these happen about a billion times per second at sea level. So any infrared radiation absorbed by CO2 molecules almost instantaneously heats the surrounding air through “inelastic” molecular collisions”.

Le réchauffement local de l'air est cependant insignifiant et contribue seulement à une légère augmentation des courants de convection.



20 mars 2019 à 21 h 39 min

Marcel

Merci Monsieur pour cet excellent article. C'est très convaincant. Mais je ne suis ni physicien ni météorologiste et je reste un statisticien perplexe par tant de divergences d'opinions à ce sujet.

Dans son livre « Global Warming Skepticism For Busy People » (Kindle, 2018), le météorologiste Américain Roy W. Spencer développe tout un chapitre sur les GES et soumet le résultat d'une simple (simpliste ?) expérience pour prouver l'existence de ces GES. Vous écrivez « certains médias destinés au grand public font appel à une analogie naïve en prétendant que les gaz à effet de serre entourent la Terre « comme une couverture » et l'empêchent de perdre sa chaleur ». C'est exactement la position de Spencer qui loin d'être un média lambda est un climatologue renommé et de surplus climatosceptique.

A l'aide d'un thermomètre à IR, il démontre qu'en pointant le thermomètre verticalement une journée (ou nuit) claire, le résultat affiché est bien plus froid que s'il pointe cet instrument vers un nuage et/ou obliquement, augmentant dans ce dernier cas la longueur de pénétration dans l'atmosphère, ce qui revient d'après lui à augmenter la quantité de gaz à effet des serres, (et l'indication de T°). Le 2ème principe de thermodynamique n'est pas violé car le net du rayonnement thermique reste de la surface vers le haut (du plus chaud au plus froid). Il va plus loin dans son raisonnement en théorisant que les GES déstabilisent l'atmosphère en rendant la surface plus chaude et la partie supérieure de l'atmosphère plus froide, créant la météo (nuages, précipitations, H/L pression et les vents). Sa conclusion est que sans les GES, la terre serait trop froide pour supporter la vie et la météo comme nous la connaissons n'existerait pas.

Qui faut-il croire dans cette grande religion du climat ?



21 mars 2019 à 10 h 37 min

★ Georges Geuskens

Merci pour vos commentaires auxquels je tiens à apporter quelques précisions.

1° Le transfert de CHALEUR (=agitation moléculaire) d'un corps froid vers un corps chaud est contraire au 2ème principe de la thermodynamique mais PAS le transfert d'ENERGIE sous forme d'un rayonnement pour peu que le rayonnement émis permette le passage du récepteur à un état excité. C'est pourquoi il n'est pas absurde d'imaginer que la couche superficielle des océans puisse absorber un rayonnement qui serait réémis par le CO2 (voir paragraphe 2b de la note). C'est ce qui est envisagé dans l'hypothèse de l'effet de serre.

2° L'hypothèse de l'effet de serre est cependant à REJETER car, dans les basses couches atmosphériques, le CO2 ayant absorbé une fraction du rayonnement

thermique de la Terre subit des milliards de collisions avant qu'un rayonnement puisse être émis. Le CO2 excité à l'état de vibration se désactivera donc par transfert d'énergie aux molécules environnantes.

3° Le météorologiste Spencer croit à l'effet de serre, comme le météorologiste Lindzen tout aussi éminent dans son domaine. Je n'essayerai pas de résumer ici leur raisonnement. Ce sont des réchauffistes « tièdes » en ce sens qu'ils refusent de pousser jusqu'au catastrophisme le raisonnement des partisans purs et durs du réchauffement climatique d'origine anthropique. Pour ma part (et pour des milliers de scientifiques), je ne crois pas à l'effet de serre, hypothèse de base de la théorie du réchauffement climatique d'origine anthropique. Voir aussi ma note <http://www.science-climat-energie.be/2019/02/14/le-rechauffement-climatique-dorigine-anthropique/>

4° L'effet des nuages n'est pas le même la nuit et le jour. Chacun sait que le jour il fait plus frais sous les nuages qu'en plein soleil : les nuages jouent le rôle d'écran, comme un parasol. Par contre la nuit il fait plus frais quand le ciel est clair que quand il y a des nuages : les nuages limitent les courants de convection vers le haut qui refroidissent la surface terrestre, comme les vitres d'une serre. Ni dans un cas, ni dans l'autre il ne s'agit de l'effet de serre défini comme un phénomène radiatif etc... (voir définition dans ma note).

5° Quant à la différence de 33°C entre la température « globale moyenne » de la Terre (+15°C) et la température « théorique » en l'absence de GES (-18°C) je l'explique dans ma note : elle est due à l'effet de la pression atmosphérique (et à une erreur concernant l'albédo).

6° Les divergences d'opinion à propos d'un hypothétique « effet de serre » proviennent d'un manque de connaissance des principes de base de la chimie et de la physique chez beaucoup de climatologues autoproclamés



21 mars 2019 à 16 h 20 min

Marcel

Un tout grand merci pour votre réponse.

Dans son livre « l'innocence du carbone – l'effet de serre remis en question », François Gervais finalement ne remet pas du tout l'effet de serre en question, certainement pas quand il couvre le méthane et la vapeur d'eau. Quant au CO2, il postule l'influence de la T° sur sa concentration atmosphérique, et pas l'inverse, ce qui est élégant comme approche mais là le statisticien peut facilement trouver des failles.

Votre analyse a le grand mérite de déduire une position claire et radicale. Ce devrait avoir l'effet d'un missile exterminant toute la théorie du GIEC ; mais rien n'y fait jusqu'à présent et cette relation, en apparence, de la concentration de CO2 et de la T° globale de la terre continue à faire les beaux jours du mouvement réchauffiste. J'ai de bonnes notions de chimie, mais la physique n'a jamais été mon point fort. Je viens de

découvrir votre site et il m'est donc difficile de me soumettre complètement à votre démonstration sans passer plus de temps à vous lire et relire beaucoup plus attentivement, et croiser avec d'autres analyses. C'est ce que je me propose de faire dans un avenir proche.

A très bientôt j'espère.



21 mars 2019 à 16 h 37 min

★ Georges  
Geuskens

Dans le débat sur le climat il y a trois types d'intervenants :

- 1- les partisans inconditionnels du GIEC : réchauffistes purs et durs, adeptes des modèles climatiques alarmistes avec intervention de multiples rétroactions positives
- 2- les partisans d'un effet de serre "naturel" ou modéré : réchauffistes tièdes sans inquiétude climatique injustifiée
- 3- les opposants à l'hypothèse de l'effet de serre pour lesquels la théorie du réchauffement climatique d'origine anthropique n'a aucun fondement scientifique



1 avril 2019 à 22 h 55 min

Rene

Merci pour cet article. Effectivement, le temps de vol étant beaucoup plus court que le temps de vie de l'état vibratoire excité, le mécanisme principal de retour au fondamental dans l'atmosphère est la thermalisation. Tout spectroscopiste sait cela, apparemment les prosélytes de l'effet de serre atmosphérique ont raté leurs cours de spectroscopie ! Je suis juste un peu étonné que vous placiez le début de l'émission à 100 km d'altitude, car de mémoire le début d'une émission significative a plutôt lieu au niveau de la tropopause. Ce qui est cohérent avec le fait que le spectre d'émission de la terre a au niveau de la bande du CO2 une "température équivalente" de 220K, à peu près la température de la tropopause.

En revanche quelques petites précisions : O2 et N2 sont des molécules symétriques diatomiques. Ce n'est pas parce que la liaison est plus forte qu'elles n'absorbent pas les IR. C'est parce qu'elles sont symétriques et qu'aucune vibration ne peut induire de dipôle. Dans le cas du CO2 linéaire, le dipôle est induit avec les vibrations hors de l'axe. De ce fait l'affirmation en conclusion me semble mal dite. Dans le cas d'école d'une atmosphère sans gaz absorbant les IR, on n'aurait aucune émission d'IR en haut de l'atmosphère, mais tout simplement les photons émis par la terre traverseraient l'atmosphère directement vers le cosmos.

De même il me semble que le paragraphe sur le gradient adiabatique prête à confusion. Le gradient adiabatique ne chauffe pas l'atmosphère. C'est juste une explication de la répartition de la température dans la colonne d'air, lié effectivement à la relation de la mécanique qui stipule que la somme de l'énergie potentielle et de l'énergie cinétique est constante (pour un système qui n'échange pas d'énergie, d'où le terme adiabatique). Mais cela ne "chauffe" pas l'air. Ce qui chauffe l'air c'est la

convection en contact avec le sol chauffé par le soleil. Ensuite le gradient adiabatique fait que l'air se refroidit au fur et à mesure qu'on monte. Et cela ne dépend en effet en rien de la présence d'un peu de CO2 dans l'air (l'eau influence plus car vue la concentration, la capacité calorifique est modifiée selon le taux d'humidité). Enfin, par rapport à la réponse faite au commentaire de Marcel sur l'effet des nuages, je ne suis pas d'accord avec l'explication donnée sur le blocage de la convection. Les nuages sont constitués d'eau condensée (liquide ou glace). Et la matière condensée réfléchit les rayonnements. Les nuages réfléchissent la lumière et les IR. On le remarque facilement, les nuits nuageuses à proximité des villes sont plus lumineuses que les nuits sans nuages, car les nuages réfléchissent les lumières de la ville. De la même manière ils réfléchissent les IR émis par les sol (en dehors de la bande du CO2 et éventuellement de celle de l'eau qui les absorbent) indépendamment de la température du nuage. C'est cette réflexion qui fait qu'il fait plus doux les nuits nuageuses. Et Roy Spencer avec son thermomètre IR mesure cette réflexion et non pas l'émission (très très minoritaire) par les molécules gazeuses.

Il n'en reste pas moins que l'on mesure des rayonnements IR plus importants en visant l'horizon que le zénith. Je pense qu'un facteur négligé est la diffusion. Tout comme l'air et les aérosols qu'il contient diffusent la lumière (ce qui fait que le coucher du soleil est rougeoyant car la diffusion est en  $\lambda^4$ ) je suppose que les IR sont diffusés (et eux aussi en  $\lambda^4$ ). Donc plus fortement pour les grandes longueurs d'onde, et de manière plus importante en visant parallèle au sol (qui émet) qu'au zénith.



3 avril 2019 à 15 h 32 min

★ Georges Geuskens

Merci pour votre long commentaire très diversifié auquel j'essaye de répondre point par point

1° D'après la théorie cinétique des gaz la fréquence des collisions entre molécules est proportionnelle à la pression et inversement proportionnelle à la racine carrée de la température. A la tropopause (11 km, P = 226 hPa et T = -56,5°C) le nombre de collisions est seulement 4 fois moindre qu'à la surface terrestre et reste encore de quelques milliards par seconde. Cela exclut pratiquement la désactivation radiative qui ne devient possible que si la fréquence des collisions est réduite à quelques milliers par seconde et donc à des pressions de l'ordre de 0,1 Pa qui se rencontrent à des altitudes de l'ordre de 90-100 km. En effet, pour une « atmosphère normalisée » (voir Wikipedia) la pression est encore de 0,37 Pa à une altitude de 85 km.

2° Le spectre d'émission de la Terre présenté comme résultant de mesures faites par satellites et la déduction que l'émission du CO2 proviendrait d'une altitude où la "température équivalente" serait 220 K (- 53°C) résultent d'un long processus d'interprétation des mesures expérimentales. En effet, les satellites ne mesurent PAS de température et les courbes d'émission sont reconstruites par des programmes informatiques (MODTRAN) qui simulent l'absorption et l'émission de rayonnement en se basant sur la loi de Planck.

3° Vous écrivez « Dans le cas d'une atmosphère sans gaz absorbant les IR, on n'aurait aucune émission d'IR en haut de l'atmosphère, mais tout simplement les photons émis par la terre qui traverseraient l'atmosphère directement vers le

cosmos ». NON, car l'énergie dissipée par convection et évaporation de l'eau des océans (suivie de condensation) qui représente 30 à 47 % de l'énergie reçue par la Terre au sommet de l'atmosphère (selon les auteurs) devra être convertie en rayonnement (par un mécanisme non élucidé) dans les hautes couches atmosphériques puisque c'est le seul moyen de l'évacuer hors du système terrestre.

4° Je n'ai JAMAIS dit, comme vous l'écrivez, à propos des molécules N<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> que c'est « parce que la liaison est plus forte qu'elles n'absorbent pas les IR ». Il est élémentaire de savoir que c'est parce que la vibration d'élongation de ces molécules n'entraîne pas de variation de moment dipolaire mais cela ne les empêche pas de vibrer ! Leurs fréquences de vibration (et énergies associées) sont connues et, en appliquant le même raisonnement que pour les molécules de CO<sub>2</sub>, on calcule que 1% seulement des molécules de O<sub>2</sub> sont en état de vibration à 15°C et encore moins pour les molécules de N<sub>2</sub>. C'est pourquoi j'écris qu'à cette température ces molécules ne vibrent PRATIQUEMENT PAS par comparaison avec les molécules de CO<sub>2</sub> dont 40% sont en état de vibration .

5° Je n'ai JAMAIS dit, comme vous l'écrivez, que « le gradient adiabatique chauffe l'atmosphère ». En relisant mon texte vous comprendrez qu'il est conforme à votre explication mais s'il prête à confusion je devrais sans doute le modifier.

6° S'il fait plus doux les nuits nuageuses je ne crois PAS que ce soit, comme vous le dites, parce que les nuages « réfléchissent les IR émis par le sol ». Au contraire, les nuages absorbent la plus grande fraction des IR émis par le sol qui, par ailleurs ne représentent qu'une faible fraction de l'énergie dissipée par la surface terrestre. Je persiste à croire que c'est parce qu'ils réduisent les courants de convection qui constituent le mécanisme prépondérant de dissipation de cette énergie.

7° La diffusion de Rayleigh de la lumière solaire par les molécules de l'air affecte surtout les plus courtes longueurs d'onde du spectre visible (violet et bleu d'où le ciel bleu). Elle est insignifiante pour le rayonnement infrarouge et ne contribue que très peu au bilan énergétique de la Terre.



31 juillet 2019 à 17 h 27 min

Schmitt

A propos de " l'effet de serre".

L'effet de serre n'a jamais existé, c'est tout juste une douce confusion avec la capacité thermique des éléments.

CO<sub>2</sub> environ 650j/kg.K,

vapeur d'eau 1850j/kg.K,

Etc...

C'est d'ailleurs grâce à cette capacité thermique que les pompes à chaleur Air/Eau fonctionnent.

Cordialement Ludwig

31 juillet 2019 à 18 h 31 min



★ Georges  
Geuskens

Il est essentiel de se mettre d'accord sur une définition de l'effet de serre. La définition la plus généralement admise est rappelée dans l'introduction de l'article <http://www.science-climat-energie.be/2019/02/14/le-rechauffement-climatique-dorigine-anthropique/>. Cette définition est claire et scientifiquement valable car conforme au principe de réfutabilité défini par Karl Popper mais dans la conclusion de l'article je précise que l'effet de serre ne peut exister dans les basses couches atmosphériques