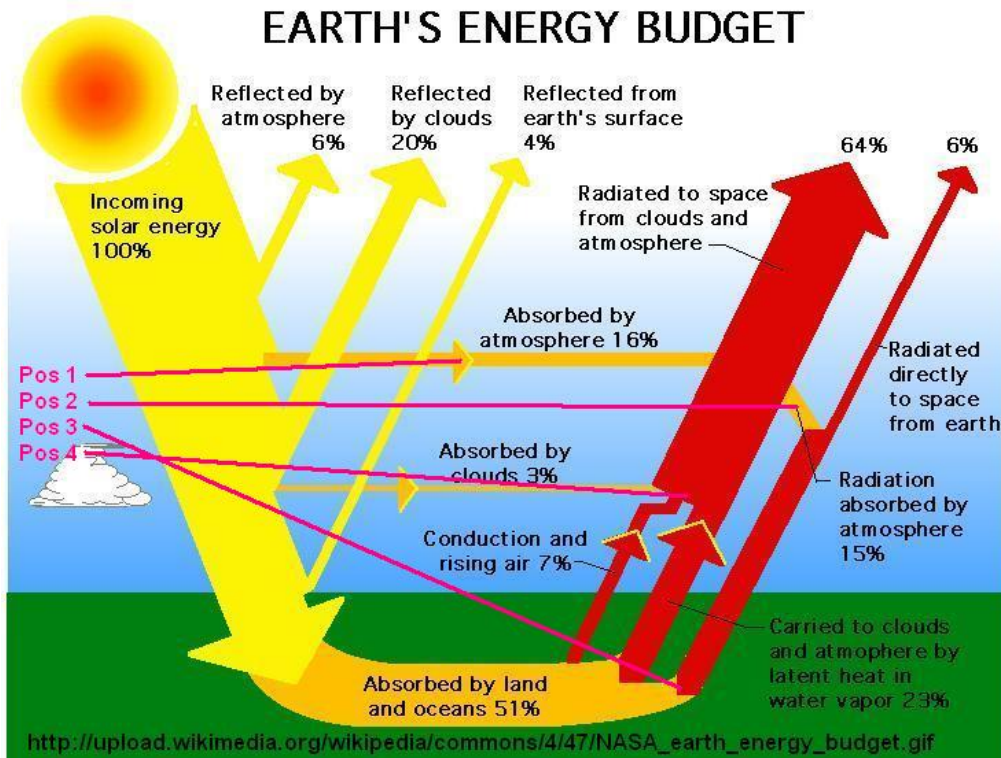


Pourquoi le CO₂ refroidit la surface de la Terre

Dr. Theo Eichten, München; Dr. Gerhard Stehlik¹, Hanau; Professor Dr.-Ing. Vollrath Hopp², Dreieich; Dr.-Ing. Edmund Wagner, Wiesbaden; © January 2014

La NASA a publié la représentation graphique la plus proche de la réalité des flux d'énergie provenant du Soleil vers la Terre et de la Terre vers l'Espace (Figure 1)³. Une représentation similaire est disponible dans les documents émanant de l'IPCC⁴ (GIEC). Qualitativement, les valeurs des flux mesurés par la NASA et l'IPCC ne diffèrent pas vraiment. De plus, ces différences entre les valeurs numériques issues de la NASA et de l'IPCC ne justifient en rien que le CO₂ refroidisse puisse refroidir la surface de la Terre.

Figure 1:



Les flèches jaunes et orangées dans la figure 1 symbolisent tous les flux en direction de la Terre de la radiation solaire (en pourcentages) et leur divers composants. Trois flux (en jaune) sont réfléchis par l'atmosphère, les nuages et la surface du sol (6 % + 20 % + 4 % = 30%). Trois autres (en orangé) sont absorbés par l'atmosphère ou la surface de la Terre (16 % + 3 % + 51 % = 70%). Deux flèches matérialisant aussi des flux (orangées) sont horizontales. L'une d'elles (16%) chauffe les hautes couches de l'atmosphère. L'autre (3%) réchauffe les nuages. Toute absorption de radiations solaires par l'atmosphère ou par la surface du sol dépend de la chaleur au sol. Tous les flux sortant de chaleur (en rouge) sont dirigés vers le haut. Ces flux ne peuvent aller vers le bas.

¹ Corresponding author: Dr. Gerhard Stehlik (gerhard.stehlik@gmx.de), GDCh Senior Expert Chemist (<https://www.gdch.de>)

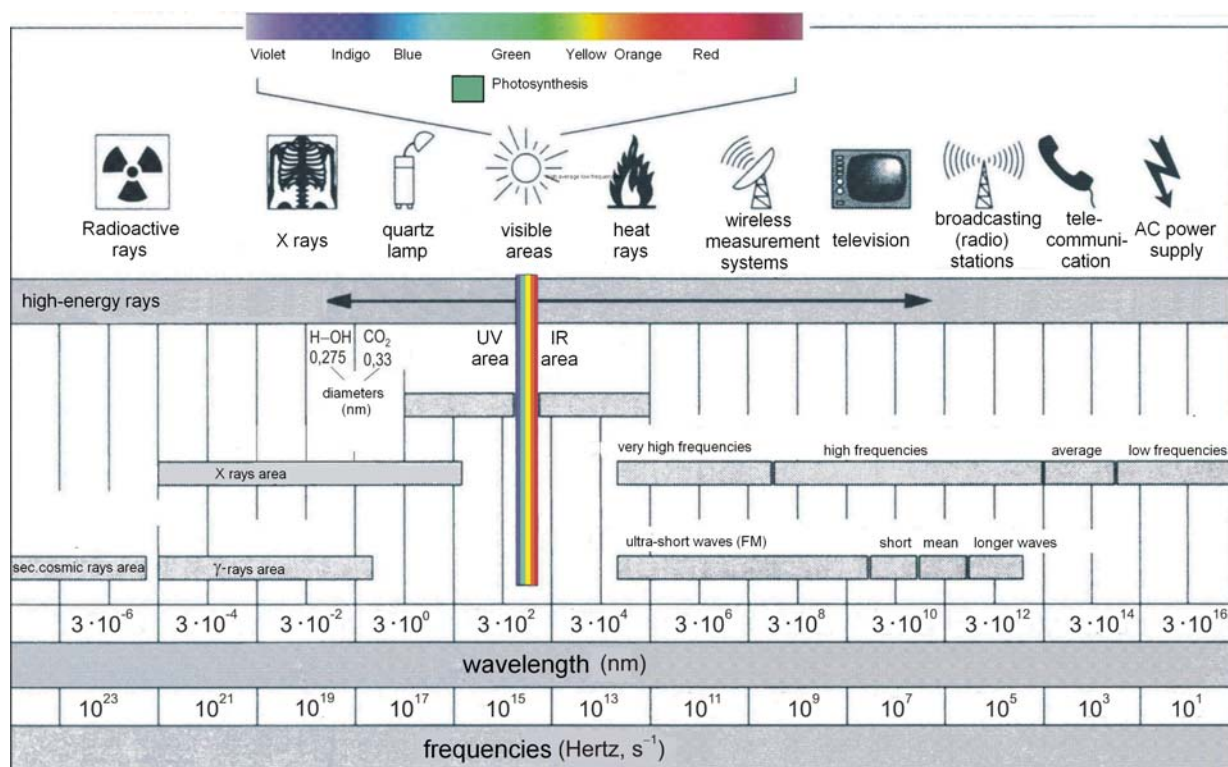
² Convenor Working Group Environment Engineering, VDI Darmstadt - Frankfurt am Main (<http://www.vdi.de>)

³ NASA - National Aeronautics and Space Administration, USA
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/47/NASA_Earth_energy_budget.gif

⁴ IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Frequently Asked Question 1.1 „What Factors Determine Earth's Climate“ Page 94 [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Le chauffage de la Terre par le Soleil est une évidence incontestée et il est la conséquence du spectre électromagnétique des radiations solaires (Figure 2).

Figure 2:



The spectrum of the electromagnetic radiation in nanometers (nm)

Diameter of a water molecule: 0,275 nm
Diameter of a CO2 molecule: 0,33 nm (dynamically) or 0,4 (statically)

Il est également évident que la Terre ne peut pas se chauffer elle-même. En conséquence, aucun composé chimique ne peut lui-même constituer une source de chaleur.⁵ Ça s'applique aussi au CO₂. Si le CO₂ était une source de chaleur il faudrait que celle-ci vienne d'ailleurs.

Les radiations en provenance du Soleil constituent la seule source de chaleur sur Terre. A contrario, le refroidissement de la Terre requiert non seulement une dissipation radiative de chaleur mais également un transfert de chaleur mécanique et l'évaporation de l'eau. Par conséquent les facteurs du refroidissement sont plus compliqués. Trois flux d'énergie (en rouge, figure 1) vont de la surface de la Terre vers l'Espace.⁶

Le refroidissement de la Terre débute à la surface de cette dernière avec ces trois flux : le premier (7 %) représente le transfert de chaleur mécanique par convection thermique vers le haut. Le second et le plus important (23 %) est le refroidissement par évaporation de l'eau. Enfin, le troisième flux (21%) représente le refroidissement par le flux radiatif vers le haut. La majeure partie de ce flux radiatif est émise vers l'atmosphère (15 %) et le reste (6%) est directement émis vers l'Espace. La somme de ces trois facteurs de refroidissement (51%) à la surface de la Terre est égale au réchauffement de la surface terrestre par le Soleil.

Les radiations solaires sont toujours dirigées vers la surface de la Terre (70%) excepté pour les trois réflexions (30%). Le flux de chaleur est toujours dirigé vers le haut : 64 % vers l'atmosphère et les 6 % restant directement vers l'Espace. Un flux de chaleur provenant de l'atmosphère et dirigé vers le sol terrestre n'existe pas. Un effet de serre de + 33 °C nécessiterait un tel flux de radiations thermiques vers le bas.

⁵ It seems that white phosphorus is warming itself up to self-ignition. In fact, the temperature increases due to conversion of chemical energy of white phosphorus and oxygen into heat. That's the rule at every combustion process.

⁶ Position 2 is an exception.

Le flux radiatif de chaleur vers le haut (15%) depuis la surface terrestre vers l'atmosphère (figure 1, position 2, flèche rose) est l'argument central que le CO₂ refroidit la surface de la Terre. Puisque ce flux s'échappe de la surface de la Terre, il ne peut en aucun cas constituer un facteur de réchauffement de celle-ci.

Il faut maintenant parler des propriétés physico-chimiques des principaux constituants de l'atmosphère, azote (N₂) oxygène (O₂) vapeur d'eau (H₂O) et gaz carbonique (CO₂). L'effet de refroidissement du CO₂ sera ensuite abordé en regard des propriétés de ces gaz.

Il existe un certain nombre de lois décrivant les flux d'énergie. Une loi scientifique élémentaire est celle de la conservation⁷ de l'énergie totale. Cette loi s'applique à toutes les situations rencontrées sur la Terre mais elle ne s'applique pas au Soleil comme fournisseur d'énergie ni à l'Espace où disparaît l'énergie indéfiniment. Cette loi de conservation de l'énergie ne s'applique donc que pour les échanges énergétiques entre la surface terrestre et l'atmosphère. Une autre loi stipule qu'un corps se refroidit en cédant de l'énergie et un corps se réchauffe quand il reçoit et absorbe de l'énergie. L'énergie radiative ne peut se transformer en chaleur que s'il y a intervention de matière. D'autre part, le second principe de la thermodynamique précise que l'énergie sous forme de chaleur ne peut pas être entièrement convertie en travail. Toutes ces lois ne sont valides que pour les échanges horizontaux d'énergie et non pour les flux d'énergie entre le Soleil, la Terre et l'Espace comme illustrés dans la figure 1.

Le chauffage résultant d'une radiation n'est possible que si celle-ci est absorbée au contraire d'une radiation passant à travers un matériau transparent comme une plaque de verre ou de l'eau. C'est ainsi que les deux principaux constituants de l'atmosphère, l'oxygène et l'azote, laissent passer presque toutes les radiations⁸ solaires incidentes vers la surface de la Terre et laissent également passer toutes les radiations thermiques en provenance de la surface terrestre pour aller se perdre dans l'Espace. Ces deux composantes de l'atmosphère ne sont jamais chauffées ni par le Soleil ni par le rayonnement provenant de la Terre parce qu'elles ne peuvent les absorber. Les émissions et les absorptions de n'importe quelle radiation se traduisent par des mouvements vibratoires et de rotation de liaisons chimiques qui deviennent plus rapides et donc les composés chimiques correspondants deviennent plus chauds par absorption ou plus froids par émission. Dans des conditions normales N₂ et O₂ ne peuvent ni absorber ni émettre de radiations.

Pourtant, comme cela est montré dans la figure 1, deux flux radiatifs solaires (16 % et 3%) sont absorbés par l'atmosphère et les nuages. La question qui se pose est donc de savoir quelles molécules absorbent ces radiations solaires?

Le flux (16%) indiqué par la flèche rose (position 1) correspond au rayonnement ultra-violet solaire. Il est absorbé par les molécules d'oxygène (O₂) eau et converti en chaleur par la formation puis la dissociation d'ozone (O₃):

Diatomic oxygen O₂ ↔ O₃ Triatomic oxygen (ozone)

UV radiation is consumed



Heat is generated

Les molécules d'O₂ et d'O₃ existent inchangées avant et après ce processus, il s'agit d'un équilibre chimique et ne peut donc pas être supérieur à la totalité de la conversion du rayonnement ultra-violet solaire en chaleur dans l'atmosphère. Ce processus n'obéit pas aux lois de Planck décrivant les propriétés des radiations.

Les 3 % restant du flux radiatif solaire sont absorbés par les nuages et correspondent au rayonnement infra-rouge absorbé par les gouttelettes d'eau des nuages. Les bandes d'absorption

⁷ Horizontal energy fluxes parallel to the surface of the Earth like cooling an area by a cold wind and warming an area by a warm wind, both are not relevant for the energy budget of the Earth because of the Law of Conservation of energy is valid in these cases.

⁸ Exception is the ozone process of UV sunlight (position 3)

des infra-rouges par l'eau sous forme de vapeur sont beaucoup plus étroites que celles de l'eau à l'état liquide. En conséquence le taux d'absorption des infra-rouges solaires par l'eau liquide (des nuages) est beaucoup plus élevé que celui de la vapeur d'eau.

Revenons à l'argument central du rôle du CO₂ comme agent de refroidissement. Il faut revenir plus en détail sur les flux de chaleur depuis la surface de la Terre vers l'atmosphère (flèche rose, position 2, figure 1). Ce flux existe parce que la vitesse d'émission radiative du CO₂ vers l'espace est toujours plus rapide que sa vitesse d'absorption du rayonnement infra-rouge provenant de la surface de la Terre.

Initialement on a montré que la Terre et donc tous les constituants chimiques de la Terre ne peuvent se chauffer eux-mêmes. Par contre tous les composés chimiques peuvent se refroidir selon la loi de refroidissement de Newton par émission irréversible d'infra-rouges vers l'Espace. Cependant il y a quelques exceptions qui concernent des molécules chimiques qui ne peuvent pas se refroidir au sens de la loi de refroidissement de Newton. Ces molécules de gaz sont justement celles de l'oxygène (O₂) et de l'azote (N₂) sphériques et totalement non polaires. Elles constituent près de 97 % de la totalité de l'atmosphère. Par conséquent 97 % de l'atmosphère ne peut pas se refroidir tout seul. Ce point est très important pour discuter ensuite du rôle du CO₂. Les molécules d'oxygène (O₂) et d'azote (N₂) ne possèdent pas de moment dipolaire électrique.⁹ Sans moment dipolaire, les vibrations thermiques de ces molécules ne peuvent ni absorber de radiations électromagnétiques que ce soit en provenance du Soleil ou de la Terre ni émettre à leur tour de radiations.

Pourtant, la nuit, l'atmosphère près du sol se refroidit. En réalité l'atmosphère se refroidit par contact avec le sol qui se refroidit en émettant puissamment des radiations vers l'atmosphère.

La loi de refroidissement de Newton est par contre valable pour la molécule triatomique asymétrique de l'eau (H₂O) ainsi que pour la molécule également triatomique de CO₂ qui possèdent toutes deux un dipôle électrique élevé et sont donc très activables par le rayonnement infra-rouge (voir figure 3). Schématiquement, dans l'essentiel de l'atmosphère (97%) qui n'est pas susceptible aux infra-rouges il se trouve environ 2 % de matériel terrestre normal susceptible d'absorber des rayons infra-rouges rendant ainsi l'atmosphère capable de se refroidir en rayonnant dans l'Espace. La valeur 2 % correspond à la somme de la vapeur d'eau (variable de 0 à 4%) et du CO₂ (0,04 % ou 400 ppm). L'eau et le CO₂ sont dits « matériel terrestre normal » car ils se refroidissent en émettant des radiations vers l'Espace et sont donc refroidis ainsi par l'Espace. À une altitude de 2 mètres, là où les observations météorologiques sont effectuées et les températures mesurées, le processus de refroidissement de l'atmosphère est dominé par le refroidissement indirect par la surface du sol. À cette altitude les émissions radiatives de l'eau et du CO₂ vers le haut sont négligeables en raison de la faible concentration (2%) de ces deux composés.

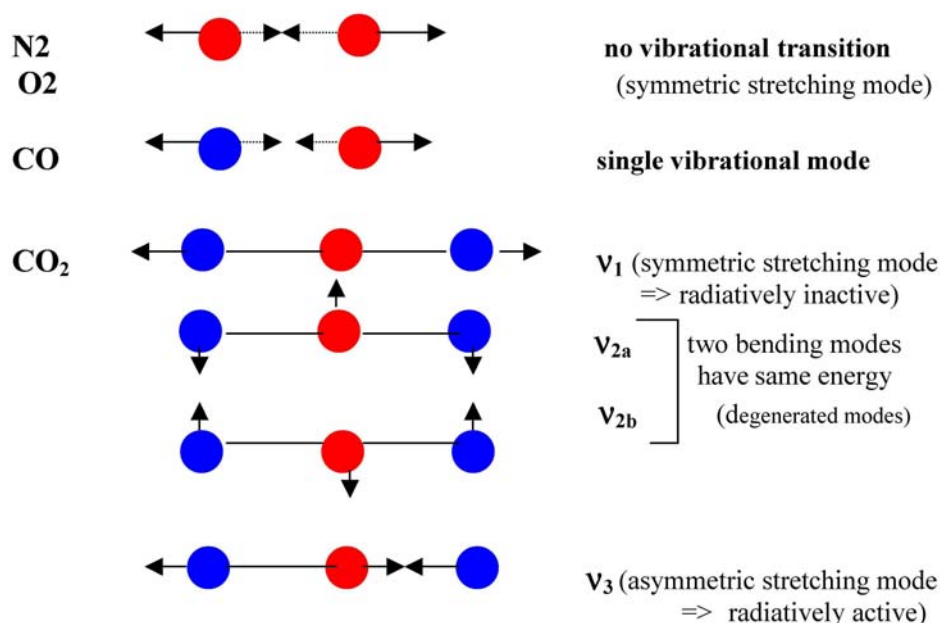
Cependant, la situation relative des équilibres énergétiques totaux de la colonne atmosphérique jusqu'à la turbopause, soit 75 km, est quelque peu différente. Ces 2 % de CO₂ et d'eau sont suffisants pour refroidir l'ensemble de la colonne atmosphérique en ce sens qu'elle devient de plus en plus froide avec l'altitude. Tandis que le volume total de l'atmosphère jusqu'à une altitude de 75 km est refroidi par l'Espace, seulement quelques centimètres d'épaisseur du sol sont refroidis par émission vers l'Espace. Ceci explique la considérable capacité de l'atmosphère à refroidir par rayonnement (63%) en comparaison de celle de la totalité de la surface terrestre (6%) en incluant terres émergées et océans.

Si on se penche sur le flux radiatif solaire, l'entrée d'énergie dans l'atmosphère est due non seulement indirectement à partir de la surface du sol (51%) mais encore par absorption additionnelle directe (16 % +3 % = 19%). Dès lors l'atmosphère reçoit 70 % de l'énergie solaire

⁹ A chemical bond then has an electric dipole moment, if different atoms are connected to each other. Then one atom is electrically positive relative to the other one and the other is negatively charged at the same rate, so that total outward electrical neutrality is maintained. The thermal movement of the two chemically bonded atoms with a dipole moment causes the electromagnetic heat radiation.

incidente totale, ce qui est supérieur à ce que reçoit la surface de la planète (51%). Et pourtant l'atmosphère reste plus froide que la surface de la Terre ! En regard de la capacité totale de refroidissement de la Terre (70%), la capacité de refroidissement de la colonne atmosphérique (64%) est environ dix fois plus importante que celle des quelques centimètres de profondeur de la surface (6%, toujours figure 1, flèche rouge de droite).

Figure 3¹⁰:



Revenons donc à l'argument central de cet exposé. La flèche rose (position 2) dans la figure 1 représente le refroidissement par radiation thermique (15%) de la surface de la Terre vers l'atmosphère, mais ni l'azote (N₂) ni l'oxygène (O₂) ne sont capables d'absorber cette radiation. Seules les traces de CO₂ et d'eau peuvent absorber ces radiations émises par la surface terrestre. Ce refroidissement radiatif contredit entièrement l'hypothétique « effet de serre » qui prévoit un réchauffement de + 33 °C en raison de ces supposés « gaz à effet de serre ».

Qui plus est, le flux le plus important de chaleur radiative depuis l'atmosphère vers l'Espace (64%) qui domine la balance énergétique globale de la Terre, est la chaleur irradiée par la totalité de l'atmosphère (flèche rose position 4, figure 1) matérialisé par la grosse flèche rouge qui renvoie dans l'Espace toute l'énergie introduite dans l'atmosphère. La figure 1 indique l'apparition soudaine d'un flux d'amplitude constante quelque part dans l'atmosphère. En réalité ce phénomène n'existe pas. La flèche matérialisant la vitesse de refroidissement de l'atmosphère devrait avoir une épaisseur de plus en plus importante avec l'altitude jusqu'à 75 kilomètres. La température de la colonne atmosphérique décroît avec l'altitude plus que le gradient usuel de - 0,6 à - 1 °C par 100 mètres qui correspond à l'influence de la gravité sur la température et la densité de l'atmosphère.

Comment le CO₂ peut-il donc agir comme le principal facteur de refroidissement de la Terre alors qu'il n'existe qu'à l'état de traces (400 ppm) dans l'atmosphère ? La concentration en eau dans l'atmosphère décroît avec l'altitude pour atteindre à peine ~12 ppm à 12 kilomètres d'altitude parce que les molécules d' H₂O gazeux se condensent en glace. Entre 12 et 75 km d'altitude, l'émission radiative de chaleur n'est le fait que du CO₂.

De plus, le CO₂ est le plus important facteur de refroidissement de la Terre non seulement en raison des flux d'énergie maintenant prouvés entre le Soleil, la Terre et l'Espace, mais aussi par son activité dans les longueurs d'onde infra-rouges particulièrement intense. Le CO₂ présente des bandes d'absorption très intenses à 10 et 15 microns (figure 4) en raison du dipôle très élevé de la liaison C=O. La transformation de l'effet intense de refroidissement du CO₂ en effet de

¹⁰ <http://www.heliosat3.de/e-learning/remote-sensing/Lec7.pdf>

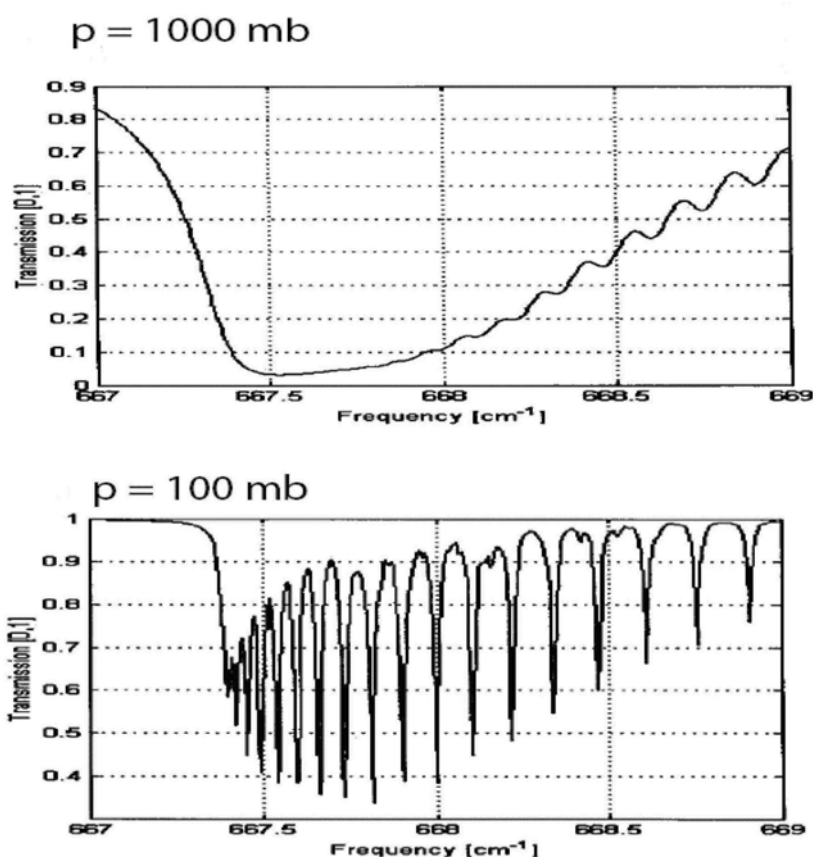
réchauffement en raison d'assertions physiques frauduleuses – appelées « effet de serre » – constitue l'une des plus grandes erreurs faites par des scientifiques.

Le facteur le plus important entraînant un accroissement du pouvoir radiatif **de la totalité** de la colonne atmosphérique avec l'altitude est la très forte susceptibilité aux infra-rouges des molécules d'eau et de CO₂ qui est modulée par l'élargissement de leurs bandes d'absorption dans l'infra-rouge avec la pression. Aux hautes altitudes et faibles pressions les bandes d'absorption sont très étroites et très intenses alors qu'aux fortes pressions et faibles altitudes ces bandes sont élargies et moins intenses. Mais la radiation thermique des bords des bandes d'absorption atteint alors l'Espace directement sans réabsorption par d'autres molécules aux hautes altitudes et faibles pressions.

Figure 4¹¹:

La pression atmosphérique affecte considérablement les spectres d'absorption du CO₂. Cette observation pose un problème majeur dans le calcul du transfert des radiations infra-rouge à travers l'atmosphère avec les variations de pression, de température et d'abondance des gaz.

Exemple de spectres d'absorption dans l'infra-rouge d'une colonne de 1 mètre de CO₂ aux pressions de 1000 et 100 millibars.



Exemple des spectres de transmission de haute résolution avec un chemin d'un mètre avec deux concentrations typique de CO₂ à 1000 mb et à 100 mb.

De plus amples détails sont étudiés dans ce livre.¹²

¹¹ http://irina.eas.gatech.edu/EAS8803_Fall2009/Lec6.pdf

¹² Fortschritts-Berichte VDI, Reihe 15, Nr. 256, Hopp, V., Stehlik, G., Thüne, W. u. Wagner, E., Atmosphäre, Wasser, Sonne, Kohlenstoffdioxid, Wetter, Klima, Leben - Einige Grundbegriffe. ISBN: 978-3-18-325615-0.