

L'effet de serre : Comment ça marche ?

Jean-Claude Keller, ing. EPF et physicien, mars 2020, www.conferences-climat-energie.ch
référence : Cours sur les phénomènes atmosphériques © par Yves Fouquart,
<https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/climatologie-tout-savoir-effet-serre-1954/>

L'expression effet de serre est utilisée pour qualifier le phénomène qui a lieu au sein de l'atmosphère et qui a comme conséquence de maintenir la température moyenne de la terre à environ +15°C (288 °K). Souvent, on peut lire que l'effet de serre est dû à une réflexion par l'atmosphère du rayonnement infrarouge émis par la surface, cela est faux ! Une source froide n'a jamais « réchauffé » une source chaude !

Sans atmosphère, il est bon de rappeler que la température moyenne sur terre serait de -18°C (255°K) ! Car sans atmosphère, les seuls échanges d'énergie entre notre planète et l'espace sont le rayonnement solaire absorbé par la surface et le rayonnement infrarouge émis par la surface vers l'espace. Dans ce cas, on se rapprocherait de l'équilibre radiatif qui s'établit sur la lune, sauf que l'albedo de la terre est plus grand que celui de la lune.

Grâce à l'atmosphère, la température moyenne sur notre planète est de +15°C (288 °K). Au sein de l'atmosphère, il y a toute une série de phénomènes qui se superposent et dont il faut tenir compte pour expliquer cette température moyenne à la surface de la planète. Parmi les principaux phénomènes atmosphériques, il y a l'émission et l'absorption de rayonnement électromagnétique par les différents gaz et les différentes poussières atmosphériques, les échanges de chaleur dus à la conduction et à la convection, enfin l'évaporation et la condensation de H₂O. De plus, aux frontières de l'atmosphère, il y a des échanges d'énergie.

Au sommet, c'est principalement une absorption et une réflexion d'énergie solaire, ainsi qu'une émission d'infrarouges vers l'espace. Au bas de l'atmosphère, ce sont principalement une absorption et une émission d'infrarouges, ainsi que des échanges de chaleur et de vapeur d'eau. Tout ceci est bien résumé dans le schéma ci-contre (publié en page 181 du 5^{ème} rapport du GIEC CLIMATE CHANGE 2013, The Physical Science Basis) :

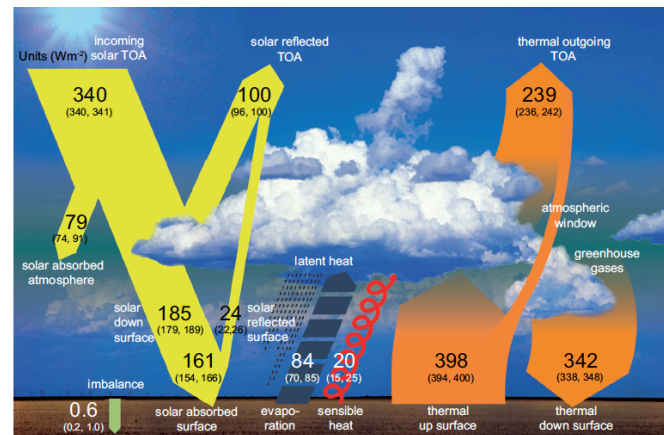


Figure 2.11: | Global mean energy budget under present-day climate conditions. Numbers state magnitudes of the individual energy fluxes in W m⁻², adjusted within their uncertainty ranges to close the energy budgets. Numbers in parentheses attached to the energy fluxes cover the range of values in line with observational constraints. (Adapted from Wild et al., 2013.)

À propos de l'effet de serre, il y a une chose sur laquelle il faut insister : c'est au sein de l'atmosphère que le phénomène effet de serre existe, mais il ne faut pas en déduire que l'atmosphère chauffe la surface. Ce serait la même erreur que de confondre un matériau isolant avec le système de chauffage ! D'un point de vue des échanges d'énergie, c'est bien la surface qui chauffe l'atmosphère. Cela est mis en évidence par les flux d'énergie décrits dans la figure du GIEC ci-dessus :

- la surface fournit à l'atmosphère 398 W/m², ainsi que 84 + 20 W/m² par convection, soit au total 502 W/m²,
- la surface reçoit de l'énergie infrarouge de l'atmosphère et de l'énergie solaire qui traverse l'atmosphère 342 + 161 W/m², soit au total 503 W/m² (cette différence de 1 W/m² est due à l'augmentation de l'effet de serre),

- d'un point de vue purement radiatif, l'atmosphère reçoit de la surface et de l'espace $398 + 79 = 477 \text{ W/m}^2$,
- d'un point de vue purement radiatif, l'atmosphère fournit à la surface et à l'espace $342 + 239 = 581 \text{ W/m}^2$,
- la différence de 104 W/m^2 ($581 - 477$) est fournie à l'atmosphère par le phénomène de la convection thermique. Sans cet apport, l'atmosphère se refroidirait !

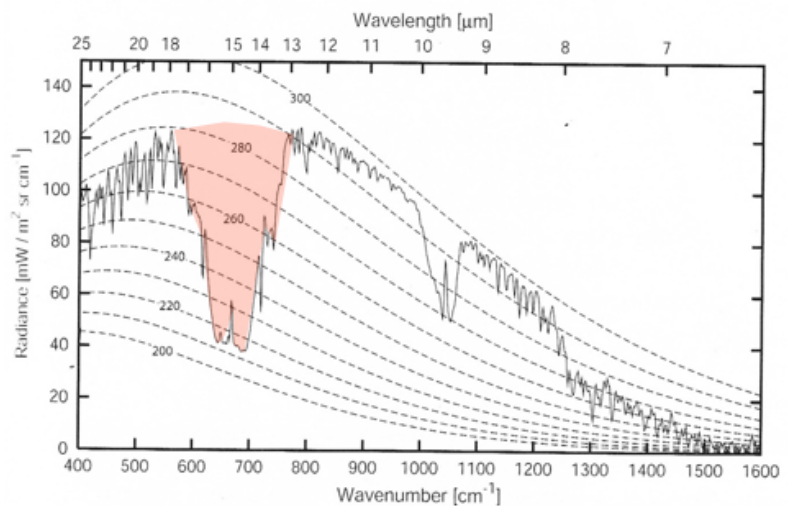
Il est temps de répondre à la question suivante : « L'effet de serre, où se cache-t-il ? »

L'équilibre thermodynamique entraîne que les flux d'énergie doivent s'équilibrer. Lorsqu'il n'y a pas de phénomène convectif, alors cet équilibre se résume à un équilibre radiatif strict. C'est le cas pour de la matière enfermée dans un volume donné à température constante, le rayonnement est isotrope et les échanges radiatifs sont équilibrés. Il ne peut donc pas y avoir gain ou perte d'énergie radiative ! Ce n'est évidemment pas du tout le cas de l'atmosphère !

Au sein de l'atmosphère, la température n'est pas constante, ce qui peut entraîner des mouvements de convection importants. Dans ce cas, il n'y a donc pas d'équilibre thermodynamique strict. Par contre, on peut définir un **Équilibre Thermodynamique Local (ETL)** où ce sont les collisions dues à l'agitation thermique qui dominent. Au sein de la troposphère, l'énergie d'un photon absorbé par une molécule de gaz à effet de serre est quasi toujours assimilée par le milieu sous l'impulsion des collisions ; et dans ce cas, l'agitation moyenne des molécules, donc la température, augmente. En présence d'un ETL, un gain net d'énergie radiative est donc possible ! En effet, nous avons aussi vu précédemment que les flux d'énergie radiative fournie à l'atmosphère et transmise par l'atmosphère ne peuvent s'équilibrer que grâce au phénomène de la convection. Cela signifie que l'effet de serre est indissociable du phénomène de convection et donc indissociable de la variation de la température ! Ce sont bien des phénomènes thermiques, de turbulence et de convection, qui permettent le maintien du peuplement des états excités propres à la température du milieu qui est imposée par l'ETL. En moyenne, le flux d'énergie associé à ce qu'on appelle l'effet de serre est donné par la différence entre le flux infrarouge émis par la surface et capté par l'atmosphère (environ 390 W/m^2) et le flux sortant en direction de l'espace au sommet de l'atmosphère (239 W/m^2), soit une différence de 151 W/m^2 . Cette valeur inclut les effets de tous

les gaz à effet de serre (vapeur d'eau, CO_2 , CH_4 , O_3 , ...) et des nuages. Si l'on ne considère que l'effet de serre dû au CO_2 , cette valeur serait d'environ 53 W/m^2 (selon Yves Fouquart : *Cours sur les phénomènes atmosphériques* ©). D'ailleurs, en considérant le spectre du flux d'énergie émis en direction de l'espace et mesuré par satellite au sommet de l'atmosphère (voir le spectre ci-contre, publié en page 226 de *Of Course In Atmospheric Radiation*), on retrouve bien cet

ordre de grandeur lorsqu'on détermine la partie manquante du flux d'énergie correspondant à la bande d'absorption autour de $15 \mu\text{m}$, propre au CO_2 .



Qu'y-a-t-il de faux dans l'article du professeur Franz Karl Reinhart *Infrared absorption of atmospheric carbon dioxide ?*

par Jean-Claude Keller, ing. EPF et physicien

www.conferences-climat-energie.ch

mars 2020

Dans son article, le professeur Reinhart :

- fait l'hypothèse que la température de l'atmosphère ne dépend pas de l'altitude, il la considère comme constante égale à 288°K (soit +15°C),
- ne tient compte dans son calcul que de l'absorption d'infrarouges par le CO₂, sans se préoccuper de l'émission d'infrarouges par ces mêmes molécules,
- assimile l'atmosphère à un corps noir puisqu'il utilise la dérivée de la loi de Stefan-Boltzmann pour calculer la sensibilité climatique.

Il y a là une triple erreur :

1. Toute tentative de chiffrer l'effet de serre en faisant l'hypothèse d'une température de l'air constante est vouée à l'échec, puisqu'elle ne peut pas tenir compte du phénomène de l'Equilibre Thermodynamique Local (ETL) à la base de l'effet de serre ! Avec une température constante le rayonnement infrarouge est isotrope, il ne peut donc pas y avoir de gain d'énergie radiative dans un volume donné ! La valeur calculée ne peut donc pas représenter un maximum, car le calcul n'intègre pas le phénomène à la base de l'effet de serre.
2. Toute tentative de chiffrer l'effet de serre en ne prenant en compte que le phénomène d'absorption d'infrarouges par les molécules de gaz à effet de serre, sans tenir compte de leur émission d'infrarouges est aussi vouée à l'échec ! La prise en compte de l'émission d'infrarouges par l'atmosphère, en direction de la surface et de l'espace, est indispensable pour équilibrer les flux d'énergie au sein de l'atmosphère. On ne peut pas isoler l'absorption d'infrarouges et en déduire que la valeur trouvée constitue un maximum possible pour le phénomène de l'effet de serre. De plus, ne pas tenir compte de la convection qui maintient le peuplement des états excités correspondant à la température imposée par l'ETL, ne peut pas conduire à une valeur maximum de l'effet de serre, ce serait même plutôt l'inverse.
3. La loi de Stefan-Boltzmann s'applique aux corps noirs, elle décrit une situation d'équilibre radiatif strict sans phénomène de conduction et de convection. Or l'atmosphère n'est pas un corps noir, cette loi ne peut donc pas être utilisée pour décrire la sensibilité climatique ! Les phénomènes à la base de l'effet de serre ne sont pas pris en compte, on ne peut donc pas dire que la valeur calculée est une valeur maximum.