

EFFET DE SERRE ET CO₂

L'effet de serre s'explique par un confinement permettant de laisser pénétrer l'énergie lumineuse solaire centrée sur le domaine visible pour réchauffer la matière présente et bloquant partiellement le rayonnement infrarouge de cette matière réchauffée. L'air contenu dans ce confinement (basses couches de l'atmosphère) se réchauffe.

1 – Le rayonnement solaire.

Le graphique représente le spectre d'irradiance du soleil en fonction de la longueur d'onde exprimée en nanomètres (1 nm = 10⁻⁹ m soit 1 μm = 1 000 nm) d'après [1]. L'enveloppe externe représente l'émission du corps noir à 5 900 K.

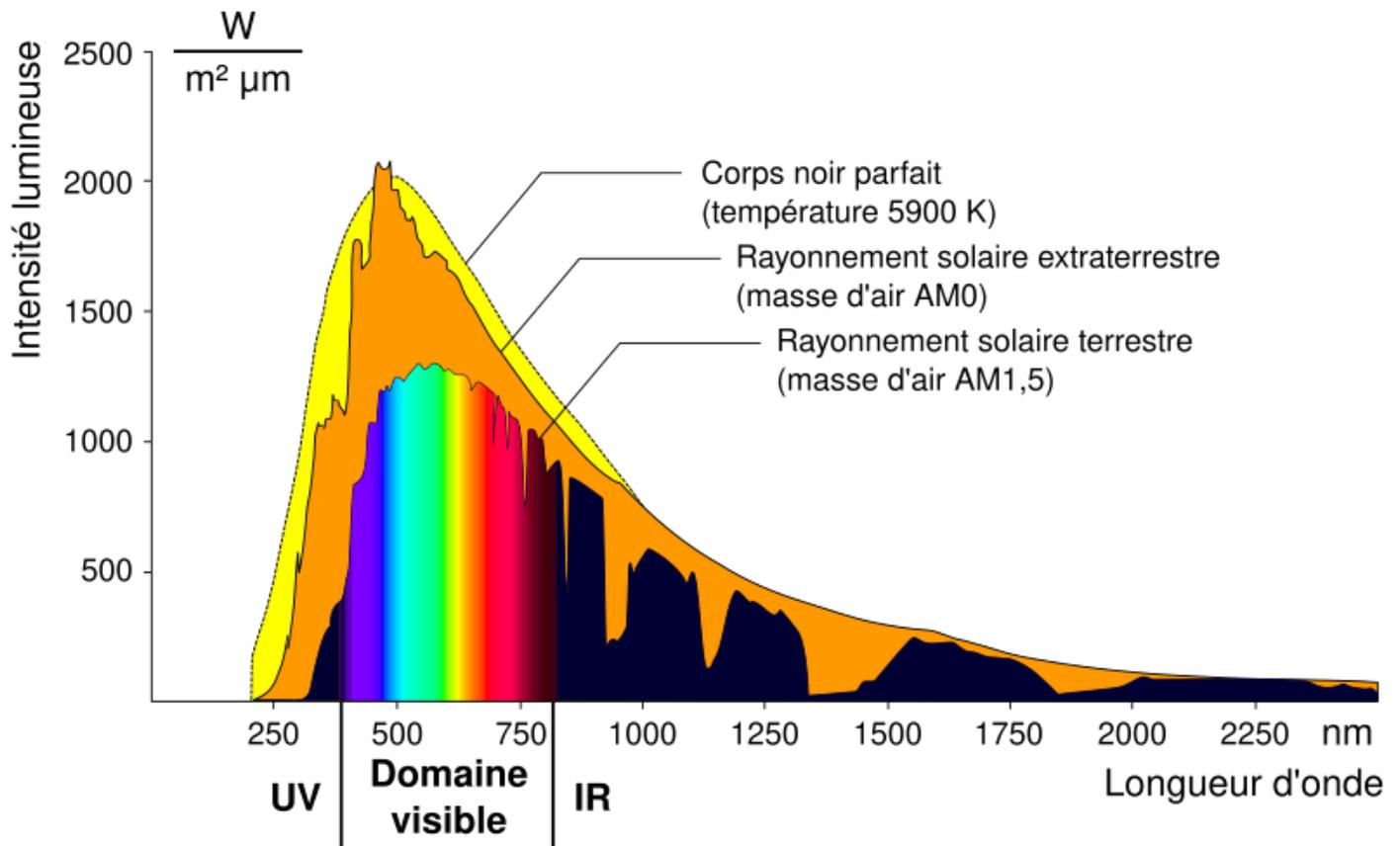


Figure 1 – spectre du rayonnement solaire [1].

L'énergie reçue dans le domaine visible représente 43% de l'énergie reçue selon [1]. Les discontinuités du spectre observées au niveau du sol correspondent aux bandes d'absorption de certains gaz présents dans l'atmosphère.

L'atmosphère terrestre absorbe environ 20 % à ces longueurs d'onde. Environ la moitié du rayonnement incident capté par l'atmosphère parvient au sol où il est absorbé par les océans et les surfaces continentales. Le reste est réfléchi par l'atmosphère, les océans et les terres émergées pour 30 % [3].

2 – Le rayonnement terrestre.

Le spectre moyen de la Terre est compris entre une enveloppe extérieure d'un corps noir à 288 K et une enveloppe intérieure d'un corps noir à 220 K [2]. Il varie en fonction de la longueur d'onde suivant la figure proposée par [2] :

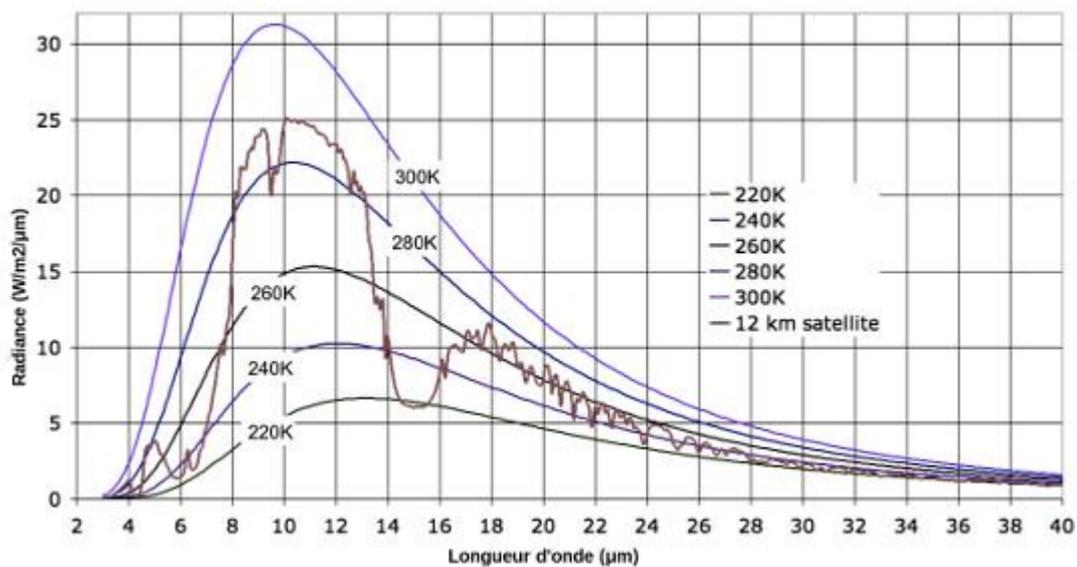


Figure 2 – spectre du rayonnement terrestre [2].

On observe que ce rayonnement débute à 3 μm (3 000 nm), ce qui le situe en dehors du spectre d'irradiance du soleil présenté au paragraphe précédent. Bien que non représenté sur la figure 1, le soleil émet aussi dans l'IR dans cette gamme de longueurs d'onde à des niveaux d'intensité plus faibles. Le rapport des radiances maximales émises entre les deux figures précédentes est : $1\ 300 / 25 = 52$.

3 – La propriété d'absorption des gaz à effet de serre.

L'effet de serre est lié à l'absorption du rayonnement infrarouge (IR) par les gaz de l'air. Les gaz diatomiques (N_2 , O_2) absorbent peu dans le domaine 4 à 40 μm. Les gaz dont la molécule comporte 3 atomes ou plus absorbent davantage. Les mesures de transmittance pour le CO_2 et H_2O soulignent cette propriété [3] :

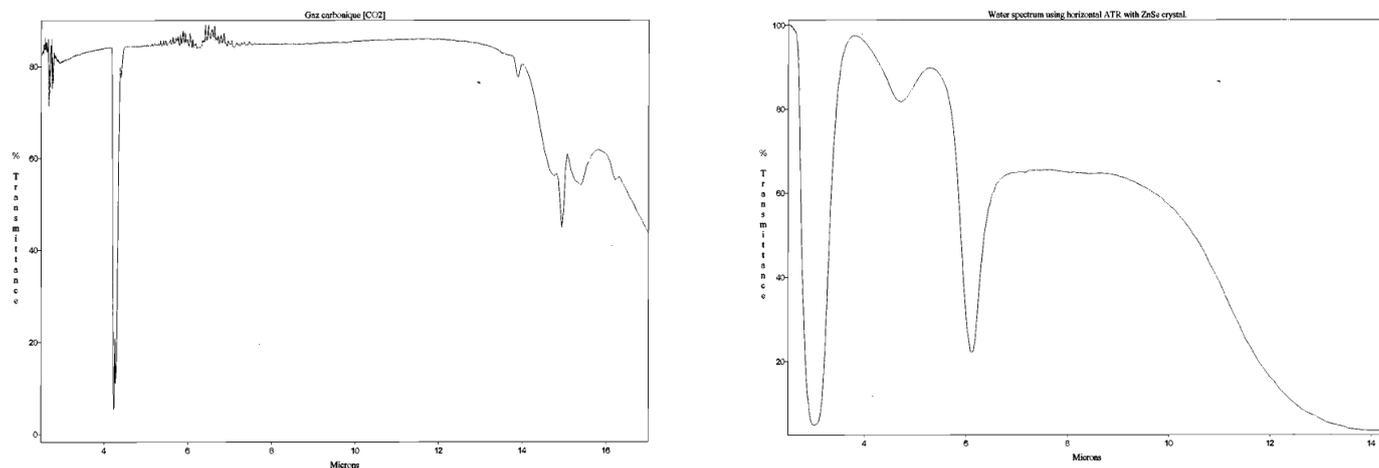


Figure 3 – bandes d'absorption du CO_2 (à gauche) et de la vapeur d'eau (à droite) ([3] d'après Jacques Gentili - 2003)

Les bandes d'absorption du CO_2 à 4,3 μm et 15 μm se traduisent par des creux sur le spectre du rayonnement terrestre (figure 2). Il en est de même pour les bandes d'absorption de la vapeur d'eau à 6 μm et au-delà de 13 μm. Les concentrations élevées en CO_2 et vapeur d'eau de l'atmosphère impliquent une absorption presque totale du rayonnement pour leurs longueurs d'onde respectives [3]. Les auteurs considèrent qu'un passage éventuel de

350 ppmv (parties par million en volume) à 700 ppmv du gaz carbonique ne conduirait qu'à un apport d'énergie supplémentaire de 4 W/m^2 , alors que le passage de 0 ppmv à 350 ppmv est d'environ 50 W/m^2 .

Les autres gaz de l'atmosphère présentent (à concentration molaire identique à celle du CO_2) un pouvoir de piégeage du rayonnement 56 fois supérieur à celui du CO_2 pour le méthane, 1 200 fois pour l'ozone, entre 4 000 et 8 000 fois pour les CFC [3]. Bien que peu concentrés [méthane (1,8 ppmv), ozone (0,04 ppmv), CFC (0,003 ppmv)], ces gaz pourvus de bandes d'absorption différentes du CO_2 et H_2O contribuent aussi sensiblement à l'effet de serre.

4 – Présentation simplifiée de l'effet de serre.

L'effet de serre est lié aux gaz à effet de serre (GES) présents dans l'atmosphère, qui absorbent le rayonnement infrarouge et laissent passer la lumière visible : vapeur d'eau (H_2O) et nuages, dioxyde de carbone (CO_2), méthane (CH_4), oxyde nitreux (N_2O), ozone (O_3) et chlorofluorocarbones (CFC).

La température d'équilibre de la surface du sol résulte de l'égalité entre la puissance captée par absorption du rayonnement solaire, et celle perdue par l'émission de rayonnement IR. Un accroissement de la concentration en GES augmente la température de l'atmosphère qui rayonne d'avantage d'énergie dans toutes les directions. La fraction captée par le sol accroît sa température et génère un réchauffement de la basse atmosphère.

Le reste du rayonnement d'énergie se dissipe dans les autres couches de l'atmosphère qui se réchauffent et émettent un peu plus : l'atmosphère absorbe tout le rayonnement émis par le sol et émet un rayonnement plus faible libéré vers l'espace à un niveau où les concentrations en GES deviennent trop faibles (l'altitude d'émission située entre 3 et 8 km) [4]. Le spectre mesuré à 12 km (fig. 2) situé au-dessus de cette altitude d'émission est représentatif du rayonnement terrestre vu de l'espace et non pas au niveau du sol.

Conclusion

Jusqu'au début du XX^{ème} siècle, les périodes froides et chaudes s'alternent de manière désordonnée en fonction des années. Les moyennes annuelles des températures fluctuent sans évoluer sensiblement. Depuis, la température moyenne s'élève régulièrement chaque année. Les années 1920 pointent le début de cette évolution : le développement généralisé et planétaire des activités humaines s'appuie sur des consommations énergétiques qui croissent régulièrement. Le fragile équilibre thermique de la biosphère, bien que portant sur des quantités énergétiques colossales échangées, semble avoir atteint son point de basculement. Des quantités énergétiques bien plus faibles produites par les humains bouleversent cet équilibre par les émissions de CO_2 associées qui génèrent cet effet de serre, mais aussi aujourd'hui par les émissions thermiques dégagées dans l'atmosphère par l'ensemble des activités humaines : les effluents thermiques de toutes les centrales thermiques, par exemple, représentent de l'ordre de 50% de l'énergie nécessaire à la fonte des glaciers du monde chaque année [5]. L'équilibre thermique de la biosphère n'est pas encore atteint et la température moyenne annuelle de l'atmosphère continuera de croître avec le développement des consommations énergétiques perpétuant simultanément production de CO_2 et rejets thermiques atmosphériques.

Alain DAMIEN

30 avril 2025

Bibliographie

- [1] [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Sonne Strahlungsintensitaet.svg&lang=fr&uselang=fr](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Sonne_Strahlungsintensitaet.svg&lang=fr&uselang=fr)
- [2] Patrick THOLLOT, Olivier DEQUINCEY, Rayonnement, opacité et effet de serre, <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/rayonnement-effet-de-serre.xml>
- [3] Bernard LEGRAS, Jean-Louis DUFRESNE, Gérard MEGIE, Jacques GENTILI, Quelles sont les propriétés communes des gaz à effet de serre ?, <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/gaz-effet-serre.xml>
- [4] [Effet de serre, par Philippe Bousquet, Jean-Louis Dufresne – Le Climat en Questions](#)
- [5] Alain DAMIEN, Thermique de la Biosphère, disponible sur www.protection-environnement-valdancoeur.fr