

Analyser le bilan radiatif terrestre



Quand on ne sait pas !

- À chaque seconde, les réactions de fusion nucléaires à l'intérieur du Soleil libèrent dans toutes les directions de l'espace une quantité énorme d'énergie sous forme de divers rayonnements électromagnétiques.
- Les radiations électromagnétiques qui composent la lumière sont caractérisées par leur longueur d'onde (► Fig. 1). Certaines de ces radiations lumineuses sont visibles par l'œil et constituent le spectre visible ; d'autres ne le sont pas comme les infrarouges et les ultraviolets.

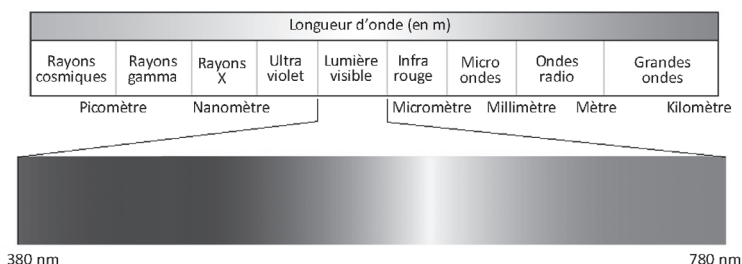


Figure 1. Spectre de la lumière visible

- Le rayonnement électromagnétique du Soleil est réparti sur une sphère (► Fig. 2).

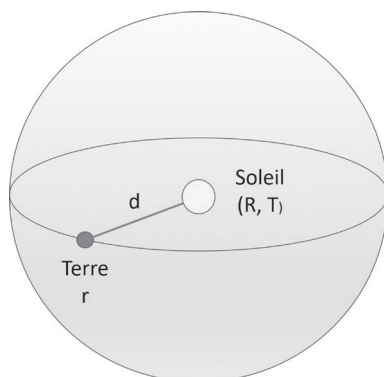


Figure 2. Le rayonnement sphérique du soleil

- La proportion de la puissance totale, émise par le Soleil et atteignant une planète, est déterminée par le rayon (r) de cette planète et par sa distance (d) au Soleil. On appelle **constante solaire** la quantité d'énergie solaire reçue (= incidente) par m² de surface exposée perpendiculairement (► Fig. 3).

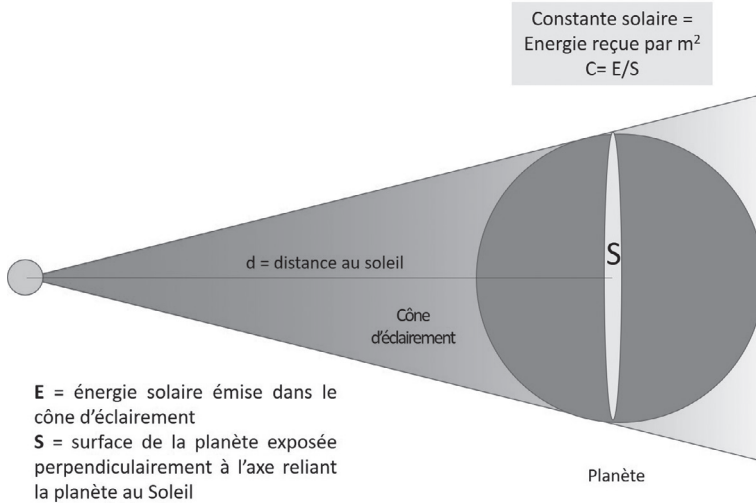


Figure 3. La constante solaire

- La mesure de la constante solaire d'une planète est effectuée par des satellites hors de son atmosphère. Elle s'exprime en W.m⁻² et diminue avec le carré de la distance séparant cette planète du Soleil (ainsi, la Terre qui est plus éloignée du Soleil reçoit moins d'énergie par m² que Mercure) (► Fig. 4).

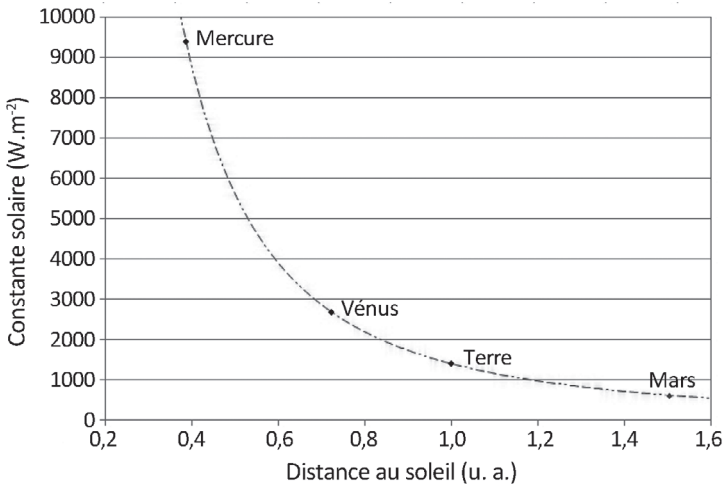


Figure 4. Valeur de la constante solaire d'une planète en fonction de sa distance au Soleil

- La matière peut se comporter de différentes façons vis-à-vis d'un rayonnement, électromagnétique (▷ Fig. 5)
 - ▶ **Réflexion et diffusion** : le rayonnement incident sur une paroi peut être directement renvoyé par la paroi. Si le renvoi obéit aux lois de l'optique géométrique (un angle d'incidence, un angle de réflexion), il s'agit alors de réflexion, si le renvoi se fait dans toutes les directions, on parle alors de diffusion.
 - ▶ **Transparence et opacité** : un milieu peut transmettre intégralement l'onde incidente, il est alors appelé milieu transparent. Le vide est un exemple de milieu transparent. Inversement, un corps ne transmettant aucune partie du rayonnement incident est dit corps opaque.
 - ▶ **Absorption** : quand une surface reçoit un flux d'énergie, la fraction transformée en énergie interne est appelée flux absorbé.
 - ▶ **Émission** : un corps porté à une certaine température convertit son énergie interne en émettant un rayonnement appelé **rayonnement thermique**.

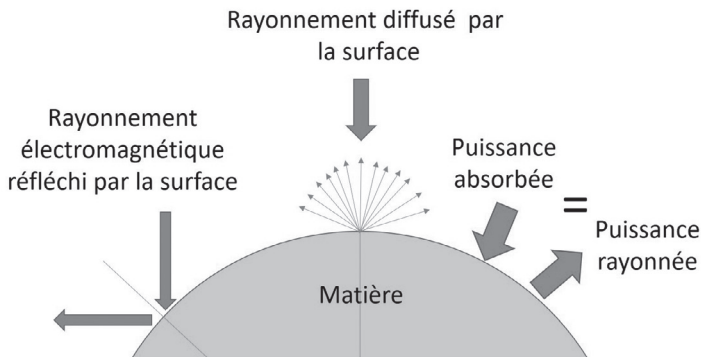


Figure 5. Les différents comportements de la matière opaque vis-à-vis d'un rayonnement électromagnétique

- Une fraction de la puissance solaire atteignant la Terre, quantifiée par l'**albédo** terrestre moyen, est diffusée par la Terre vers l'espace, le reste est absorbé par l'atmosphère, les continents et les océans (▷ Fig. 6).
 - ▶ On appelle **albédo** le rapport entre l'énergie solaire réfléchi (par l'atmosphère, les nuages ou le sol) et l'énergie reçue ; sa valeur varie entre 0 (surface parfaitement absorbante) et 1 (surface parfaitement réfléchissante).
 - ▶ Les océans ont un albédo compris entre 0,5 et 0,1 ; les continents ont un albédo plus élevé que celui des océans. Toutes surfaces confondues, l'albédo moyen terrestre est de 0,3.

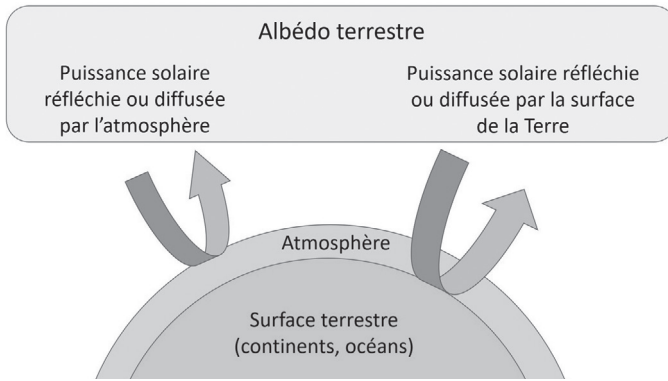


Figure 6. L'albédo terrestre

- ▶ Les radiations électromagnétiques solaires absorbées (principalement des longueurs d'onde du domaine du visible), sont réémises à des longueurs d'ondes beaucoup plus élevées : c'est une loi physique établie par le physicien Planck. Ainsi le sol émet un rayonnement électromagnétique dans le domaine infrarouge (longueurs d'onde voisines de $10\ \mu\text{m}$) : c'est le **rayonnement thermique** de la Terre.
- ▶ Les caractéristiques du rayonnement thermique d'une planète (répartition de l'énergie émise en fonction de la longueur d'onde) est fonction de la température de sa surface. Ainsi la Terre, dont la température moyenne de surface est de $300\ \text{K}$ rayonne principalement dans le domaine infrarouge (longueur d'onde voisine de $10\ \mu\text{m}$), alors que le soleil (température de surface de $6000\ \text{K}$) rayonne principalement dans le visible (▶ Fig. 7).

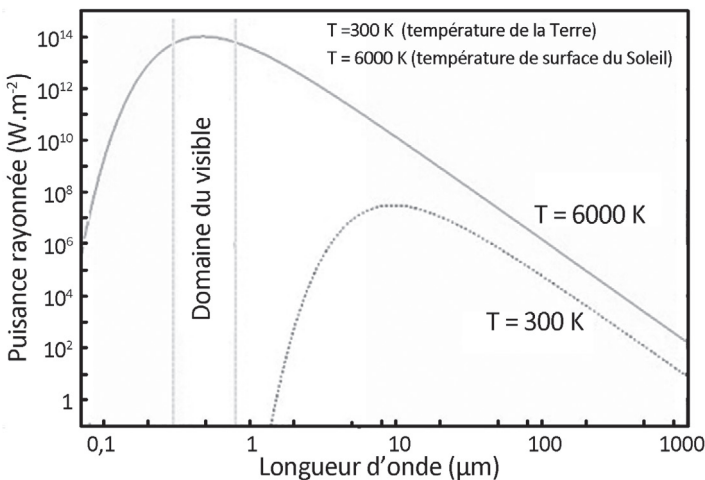


Figure 7. Comparaison des rayonnements thermiques du Soleil et de la Terre

- Une partie de la puissance rayonnée par la Terre est absorbée par l'atmosphère, qui elle-même émet un rayonnement infrarouge vers le sol et vers l'espace : c'est l'effet de serre (► Fig. 8).

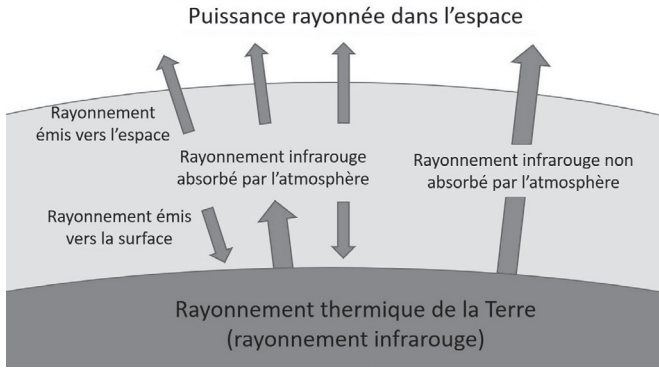


Figure 8. L'effet de serre est lié au rayonnement thermique de la Terre

- L'effet de serre est lié à l'existence dans l'atmosphère de gaz à effet de serre (GES).
 - Certains gaz atmosphériques sont capables d'absorber de l'énergie électromagnétique dans des régions spécifiques du spectre. C'est le cas de la vapeur d'eau, du dioxyde de carbone, du méthane, de l'oxyde nitreux, de l'ozone. (► Fig. 9).

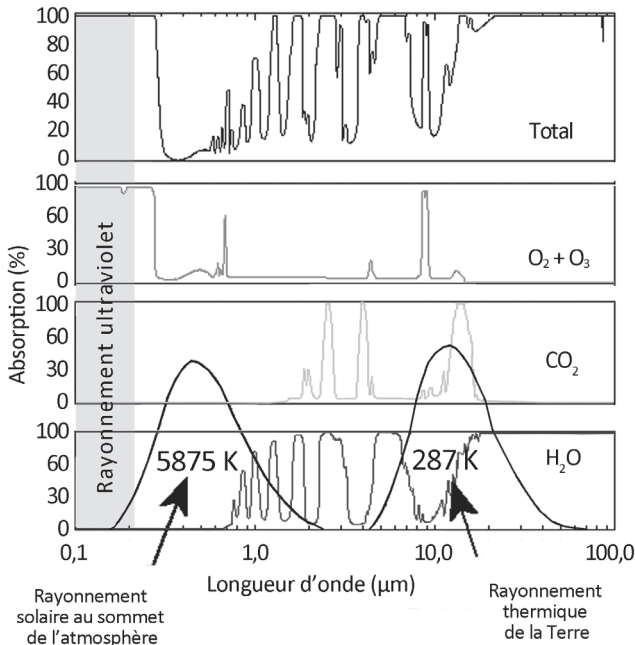


Figure 9. Les GES absorbent de l'énergie électromagnétique dans des régions spécifiques du spectre

- ▶ L’ozone atmosphérique absorbe la plus grande part du rayonnement ultra-violet solaire, nous protégeant de ses effets néfastes sur la santé.
- ▶ La vapeur d’eau et le CO₂ absorbent une part importante du rayonnement thermique de la Terre (▶ Fig. 9).
- ▶ La contribution énergétique d’un GES à l’effet de serre dépend de ses capacités d’absorption, de sa concentration et de sa durée de vie dans l’atmosphère. On peut l’évaluer en W.m⁻² (▶ Fig. 10).

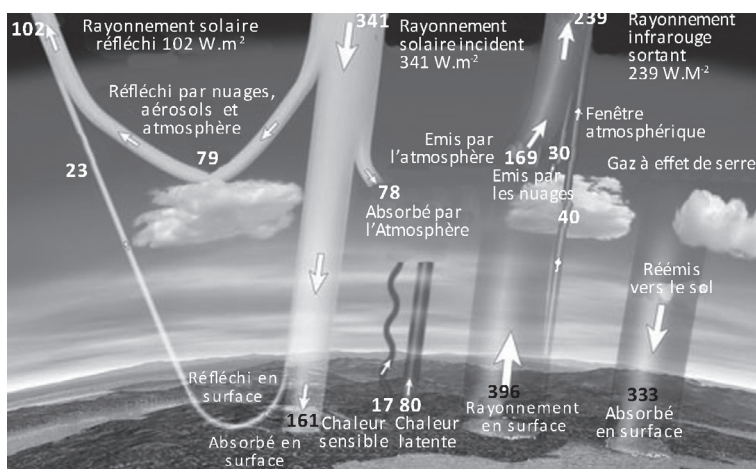
Gaz atmosphérique	Vapeur H ₂ O	CO ₂	O ₃	CH ₄ + N ₂ O	Total
Effet de serre (Wm ⁻²)	91,8	39,8	12,2	9,2	153

Figure 10. Puissance rayonnée en direction de la Terre par différents GES (en W.m⁻²)

- ▶ L’importance de l’effet de serre est fonction de la teneur de l’atmosphère en différents GES.
- ▶ Pour la Terre, l’effet de serre est responsable d’une élévation de 33 °C de la température. En effet, la température moyenne à la surface de la Terre (aujourd’hui environ + 15 °C) serait, en l’absence de gaz à effet de serre, identique à celle mesurée à la surface de la Lune (– 18 °C).

En effet, la Lune se trouve située à la même distance que la Terre du Soleil et en reçoit donc la même quantité d’énergie par unité de surface (même constante solaire).

- La puissance reçue par le sol en un lieu donné est égale à la somme de la puissance reçue du Soleil et de celle reçue de l’atmosphère.



➔ d’après F. Poulain, Météo-France)

Figure 11. Les différentes composantes de l’effet de serre

- ▶ Le rayonnement solaire reçu au sommet de l'atmosphère a une puissance moyenne de 341 W.m^{-2} .

La Terre réfléchit directement vers l'espace 102 W.m^{-2} . L'essentiel de la réflexion s'effectue au sein de l'atmosphère (79 W.m^{-2}), alors que l'essentiel de l'absorption a lieu au niveau du sol (161 W.m^{-2}) (► Fig. 11).

- Un équilibre, qualifié de dynamique, est atteint lorsque le sol reçoit au total une puissance moyenne égale à celle qu'il émet. La température moyenne du sol est alors constante.
 - ▶ Rayonnement absorbé par le sol = $161 + 333 = 494 \text{ W.m}^{-2}$.
 - ▶ Rayonnement réémis dans l'espace = $17 + 80 + 396 = 493 \text{ W.m}^{-2}$ (petite différence liée aux arrondis !).
- Si la teneur en GES augmente, cet équilibre sera déplacé et la température de l'atmosphère augmentera (► Fig. 12).

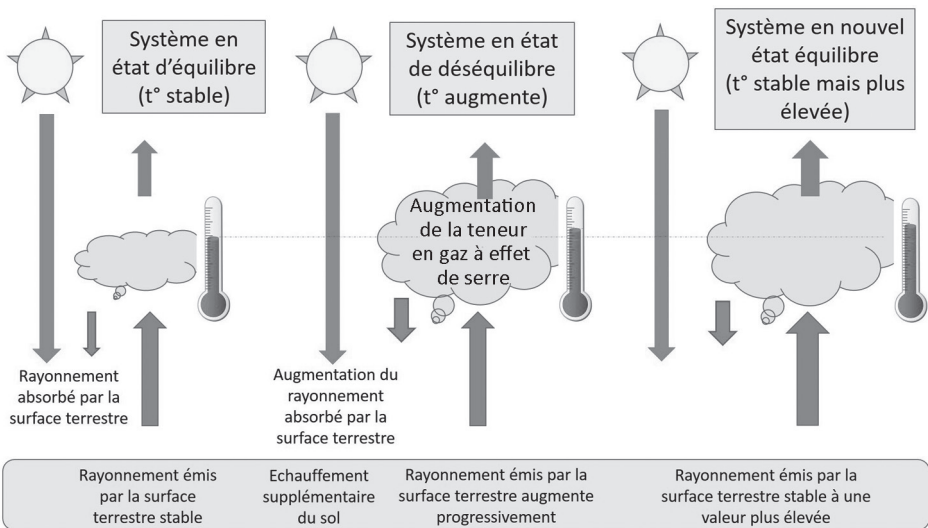


Figure 12. À la recherche d'un nouvel état d'équilibre (très simplifié)

Que faire ?

- Déterminer quelles zones du globe réfléchissent le plus les rayons lumineux qui leur parviennent.
- Montrer que les propriétés de l'atmosphère permettent d'expliquer la puissance supplémentaire reçue par le sol.
- Mettre en relation le spectre d'émission du Soleil et les propriétés d'absorption des gaz atmosphériques.
- Trouver les intervalles de longueur d'onde pour lesquelles l'absorption par les gaz atmosphériques est maximale (ou minimale).
- Montrer le lien qui existe entre la concentration de l'atmosphère en CO_2 et la température moyenne de surface de la Terre.

Conseils

L'effet de serre tire son nom du fait que le vitrage d'une serre absorbe le rayonnement infrarouge et se comporte de façon similaire à l'atmosphère : en absorbant les infrarouges, il s'échauffe et émet en direction du sol une partie de l'énergie qu'il a absorbée.

Revoir les notions de physique sur les transferts d'énergie (conduction, radiation, convection, évaporation).

Revoir les notions de physique relatives à l'émission d'infrarouge par un corps chaud.

Exemple traité

Le réchauffement climatique est susceptible de provoquer de graves troubles dans l'avenir : augmentation de la fréquence et de l'intensité des aléas climatiques (tempêtes, sécheresses...), fonte des glaciers et montée des eaux, réduction de la biodiversité, migration des populations, etc. Ce réchauffement est attribué à l'effet de serre.

Question 1 : rappeler la définition de l'effet de serre

Question 2 : en partant du principe qu'une vitre se comporte comme l'atmosphère, imaginer une série d'expériences pour montrer l'influence de l'atmosphère et de sa composition sur le réchauffement climatique. Vous étudierez, en particulier, l'effet de deux gaz : le CO_2 et la vapeur d'eau.