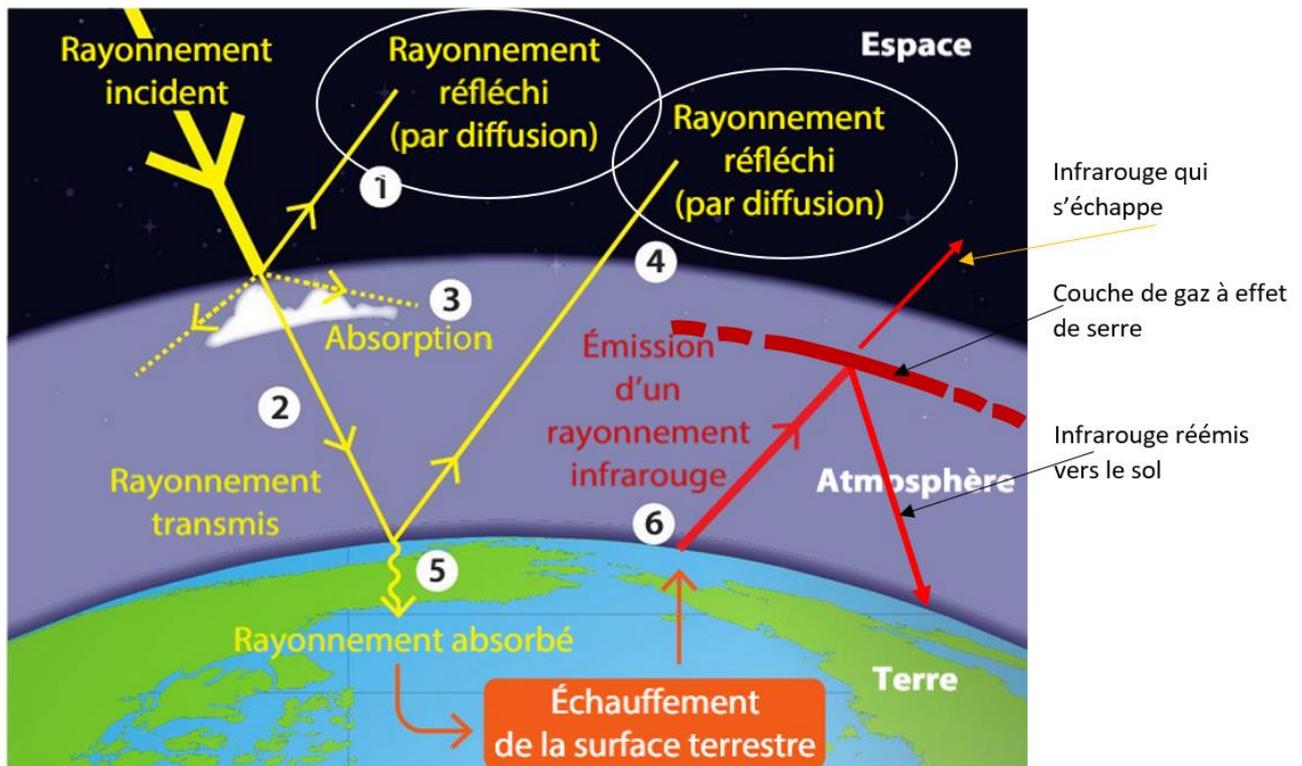


Approche documentaire : Bilan radiatif terrestre et l'effet de serre

Le rayonnement solaire parvenant jusqu'à la Terre est sa source principale d'énergie thermique. Comme la température moyenne de la surface de la Terre est stable au fil des ans, cela signifie que la surface reçoit en moyenne autant d'énergie qu'elle en émet vers l'espace par son propre rayonnement.

On considère le document suivant qui résume le bilan radiatif du système {Terre + atmosphère}.



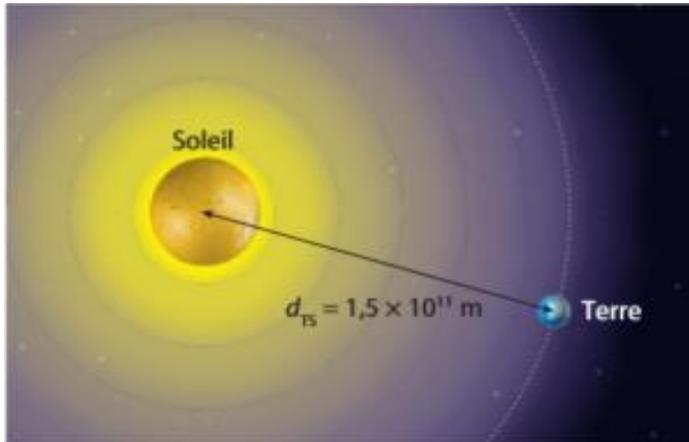
La Terre reçoit un rayonnement solaire dont le flux thermique surfacique moyen est de l'ordre de $\varphi_I = 340 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Un pourcentage de ce rayonnement est réfléchi sans être absorbé par l'atmosphère : cette proportion est appelée **albédo**.

Plus l'albédo est élevé, plus le rayonnement solaire est réfléchi et moins la surface de la Terre reçoit d'énergie thermique. Si une partie du rayonnement émis par la Terre n'était pas absorbée par l'atmosphère (principalement dans le domaine des infrarouges), la température à la surface serait bien plus basse. Cette absorption essentiellement due à la présence de certains gaz dans l'atmosphère s'appelle **l'effet de serre**.

Cet effet de serre naturel permet à la surface de la Terre de récupérer une partie de l'énergie qu'elle rayonne, contribuant ainsi à son réchauffement.

Intéressons-nous dans un premier temps au rayonnement incident :

Pour la Terre, le rayonnement solaire se répartit sur une sphère imaginaire de rayon correspondant à la distance Terre-soleil ($d_{TS} = R = 150$ millions de km) sur le schéma ci-après.

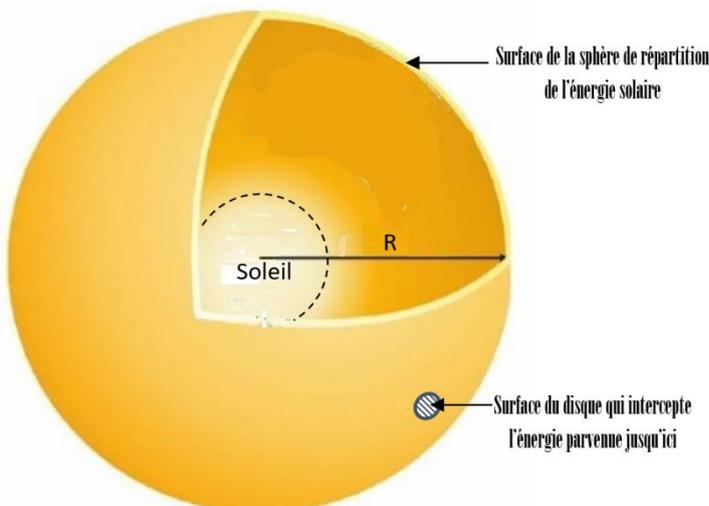


La puissance surfacique P_s diminue lorsque la distance au Soleil augmente.

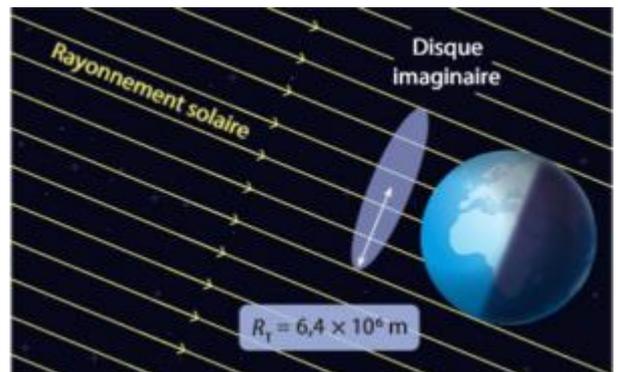
Q1. Faire le calcul de la puissance solaire par unité de surface (P_s) reçue par la Terre, sachant que la puissance totale émise par le soleil est de $3,87 \cdot 10^{26}$ W.

$$P_s = \frac{3,87 \cdot 10^{26}}{4\pi d_{TS}^2} = 1369 \text{ W/m}^2$$

La Terre intercepte une portion très petite de cette puissance.



Disque de captation de l'énergie solaire



La puissance du rayonnement solaire reçu par la Terre en W se note P_{Terre} , elle est proportionnelle à la surface d'un disque imaginaire et calculable avec :

$$P_{Terre} = P_s \times S_{\text{disque}} = P_s \times \pi \cdot R_T^2$$

Or la Terre est une sphère et sa surface est : $S_{Terre} = 4 \cdot \pi \cdot R_T^2$.

Sur une journée, la puissance du rayonnement solaire va donc être reçue par une surface sphérique ainsi, la fraction du rayonnement interceptée par la Terre s'exprime comme un quotient de 2 surfaces donc chaque m^2 de la Terre reçoit 1/4 de l'énergie interceptée par le disque : on parle de rayonnement incident en W/m^2 , noté φ_I .

Q2. Calculer (simplement) le rayonnement incident par unité de surface reçue par la Terre (sphérique), φ_I . Reporter cette valeur sur le schéma en p19.

$$\varphi_I = \frac{P_s \times \pi R_T^2}{4\pi R_T^2} = \frac{P_s}{4} = \frac{1369}{4} = 342 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Devenir du rayonnement incident (voir schéma p19) :

- Le rayonnement incident (342 W/m^2) arrive.
- L'atmosphère réfléchit une partie du rayonnement vers l'espace ❶ ou ❷ vers le sol.
- L'atmosphère absorbe une partie du rayonnement ❸
- La part du rayonnement qui a été diffusé vers le sol est soit absorbé par le sol ❹ soit diffusé vers l'espace ❺

On estime que l'albédo terrestre moyen est de 0,3. Par conséquent, 30% de l'énergie reçue va être diffusée vers l'espace par l'atmosphère, les continents, les océans.

Q3. Calculer le flux réfléchi par l'ensemble du système {Terre + atmosphère}, puis reporter la valeur sur le schéma en p19.

$$\varphi_{\text{réfléchi}} = \varphi_1 + \varphi_4 = 0,3 \times \varphi_I = 0,3 \times 342 = 102 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

16% de ce flux réfléchi total est réfléchi par la surface de la terre (continents et océans). Compléter le schéma en p19.

$$\varphi_4 = 0,16 \times \varphi_{\text{réfléchi}} = 0,16 \times 102 = 16 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\text{D'où } \varphi_1 = \varphi_{\text{réfléchi}} - \varphi_4 = 102 - 16 = 86 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{flux réfléchi par l'atmosphère})$$

Les gaz atmosphériques absorbent le rayonnement incident dans certaines gammes de longueurs d'ondes. Ainsi on peut voir que les UV et les infrarouges sont très absorbés par l'atmosphère. On estime que cette absorption atmosphérique du rayonnement incident est de 20 %

Q4. Calculer le flux absorbé par l'atmosphère et reporter cette valeur sur le schéma en p19.

$$\varphi_{\text{absorbé}} = \varphi_3 = 20\% \times \varphi_I = 0,2 \times 342 = 68 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

- Calculer le flux arrivant au sol et reporter cette valeur sur le schéma en p19

$$\varphi_{\text{sol}} = \varphi_I - \varphi_1 - \varphi_3 = 342 - 86 - 68 = 188 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = \varphi_2$$

$$\varphi_{\text{absorbé par le sol}} = \varphi_5 = \varphi_2 - \varphi_4 = 188 - 16 = 172 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

La réémission de cette énergie :

A son tour, la Terre émet également un rayonnement dans le domaine de l'infrarouge. L'atmosphère terrestre absorbe une partie de la puissance émise par le sol et émet elle-même un rayonnement infrarouge vers le sol

Q5. On suppose que la terre émet comme un corps noir : quelle est sa température de surface T_s ? En déduire la longueur d'onde λ_T à laquelle son émission présente un maximum.

• on applique la loi de Stephan - Boltzmann :

$$\varphi_{\text{émis}} = \sigma \times T_s^4 \Rightarrow T_s = \left(\frac{\varphi_{\text{émis}}}{\sigma} \right)^{1/4} \Leftrightarrow T_s = \left(\frac{391}{5,67 \cdot 10^{-8}} \right)^{1/4} = 288,17 \text{ K}$$

$$\text{soit } \boxed{T_s = 15^\circ \text{C}}$$

• de la loi de Wien : $\lambda_T = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{T_s} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{288,17} = 10 \mu\text{m}.$

λ_T appartient au domaine des IR.

Une grande partie de ce rayonnement infrarouge IR est absorbée au niveau de l'atmosphère terrestre par les nuages et les gaz à effet de serre (GES) Lorsque ces molécules absorbent le rayonnement infrarouge, elles entrent en état d'excitation et réémettent alors le rayonnement IR dans toutes les directions de l'espace : une partie est renvoyée vers le sol, une partie est renvoyée vers l'espace.

Le rayonnement IR réémis vers la surface est absorbé par la surface puis, réémis vers l'atmosphère, à nouveau absorbé par les GES, réémis vers la surface et vers l'espace ...

C'est ce qu'on appelle l'effet de serre.

| | H ₂ O | CO ₂ | O ₃ | CH ₄ |
|-------------------------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Concentration (%) | 0,5 à 5 | 0,04 | 0,0007 | Traces |
| Contribution à l'effet de serre (%) | 48,4 | 21,1 | 6,4 | 4,8 |

Q6. Indiquer les 2 gaz principalement responsables de l'effet de serre.

H₂O y contribue à 48,4% et CO₂ à 21,1%) environ 70% à eux deux.

Q7. Réaliser le bilan radiatif sur le système {Terre + atmosphère}. Retrouve-t-on l'hypothèse de l'introduction ?

de Bilan en régime stationnaire doit donner: $\varphi_I = \varphi_{\text{réfléchi}} + \varphi_{\text{émis}}$

$\varphi_I = 342 \text{ W/m}^2$, $\varphi_{\text{réfléchi}} = \varphi_1 + \varphi_4 = 102 \text{ W/m}^2$, $\varphi_{\text{émis}} = 240 \text{ W/m}^2$
 ou l'hypothèse de l'introduction: t° moyenne stable est vérifiée.

Q8. Effectuer le même bilan pour le système {Terre}; puis le système {atmosphère}.

Bilan syst {Terre}: $\varphi_2 + \varphi_{\text{reçu de la part de l'atmosphère}} = \varphi_{\text{réfléchi par la Terre}} + \varphi_{\text{rayonné par la sol}}$
 $188 + 220 = \varphi_4 = 16 + 391$

Bilan syst {atmosphère}: $\varphi_I + \varphi_{\text{rayonné par la sol}} = \varphi_{\text{réfléchi}} + \varphi_5 + \varphi_{\text{émis}} + \varphi_{\text{absorbé par la sol}}$
 $342 + 391 = 102 + 172 + 240 + 220$

Et si la Terre n'avait pas d'atmosphère ?

Q9. Pour avoir une idée de la température qu'aurait la Terre sans atmosphère, on considère que :

- le flux réfléchi par la surface de la Terre est proportionnel au flux incident à la surface de la Terre.
- La Terre se comporte comme un corps noir

Effectuer alors le bilan pour le système {Terre sans atmosphère} pour estimer le rayonnement absorbé par la Terre. Quelle serait la température moyenne de la Terre dans ces conditions. Conclure.

• Dans le cas précédent, % réfléchi = $\frac{\varphi_4}{\varphi_2} \times 100 = \frac{16}{188} \times 100 = 8,5\%$

• Sans atmosphère: $\varphi_{\text{réfléchi}} = 8,5\% \times \varphi_I = 0,085 \times 342 = 29 \text{ W/m}^2$

D'où $\varphi_{\text{absorbé}} = \varphi_I - \varphi_{\text{réfléchi}} = 313 \text{ W/m}^2$

• Modèle du corps noir $\Rightarrow \varphi_{\text{absorbé}} = \varphi_{\text{émis}} = \sigma \cdot T^4$

D'où $T = \left(\frac{\varphi_{\text{absorbé}}}{\sigma} \right)^{1/4} = \left(\frac{313}{5,67 \cdot 10^{-8}} \right)^{1/4} = 272,6 \text{ K soit } -9,6^\circ\text{C}$

A cette t° moyenne, l'eau serait le plus souvent sous forme solide.

LE BILAN RADIATIF DE LA TERRE

φ en $W \cdot m^{-2}$

