

BILAN THERMIQUE TERRESTRE

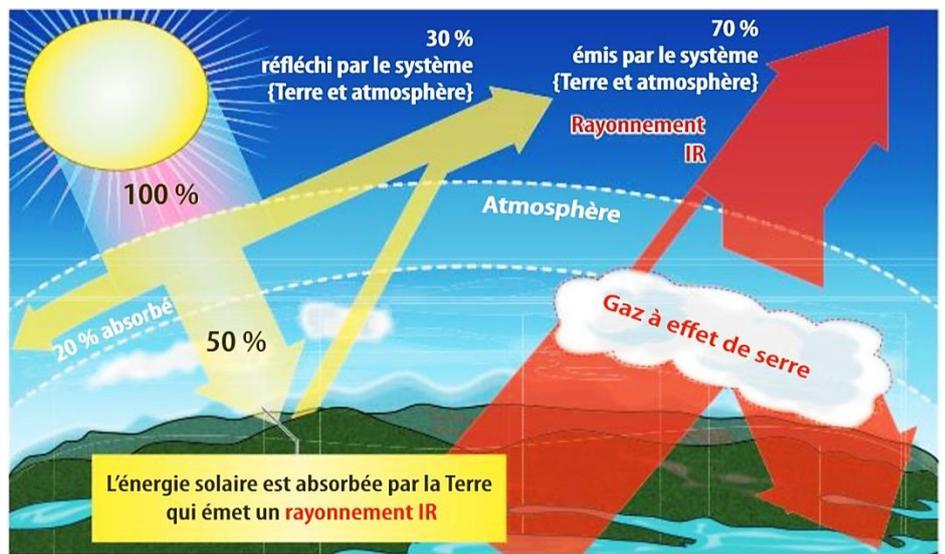
Le rayonnement solaire est la principale source d'énergie de la Terre. En fonction de l'albédo et de l'effet de serre, cette énergie a plus ou moins été retenue par l'atmosphère terrestre au cours de son histoire, provoquant des variations de sa température moyenne. Aujourd'hui, les experts du GIEC (Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) cherchent à modéliser les transferts thermiques du système {Terre ; atmosphère} de manière à prévoir l'évolution de cette température d'ici à la fin du siècle.

L'objectif de cette activité est d'effectuer un bilan thermique du système {Terre ; atmosphère} pour estimer la température terrestre moyenne.

Document 1 : Bilan radiatif du système {Terre ; atmosphère}

(vidéo)

Tout le rayonnement solaire n'est pas absorbé par la surface de la Terre. En effet, une partie est directement réfléchi par les nuages ou la glace (albédo). Par ailleurs, l'atmosphère terrestre contient des gaz à effet de serre (H_2O , CO_2 , CH_4 , O_3 ...) et absorbe donc une partie du rayonnement infrarouge émis par la planète. La température terrestre moyenne dépend donc de l'influence de l'albédo et de l'effet de serre.



Questions

Q1. D'après le document 1, de quels paramètres dépend la température moyenne à la surface de la Terre ?

Calcul de la puissance solaire reçue par le système {Terre et atmosphère} :

Q2. Le Soleil étant considéré comme un corps noir, déterminer la puissance surfacique p_s émise au niveau de la surface du Soleil. (s'aider des docs 2 et 3)

Q3. À l'aide du doc.2, calculer la puissance solaire surfacique p'_s au niveau de la Terre.

Q4. Exprimer la puissance solaire incidente P_T interceptée par la Terre en fonction de p'_s .
En déduire la puissance solaire incidente surfacique p_T reçue en moyenne par la Terre.

Calcul de la température terrestre moyenne :

Q5. Sachant que l'albédo du système {Terre;atmosphère} est $\alpha = 0,30$, calculer la puissance surfacique moyenne $p_{T(abs)}$ absorbée par ce système.

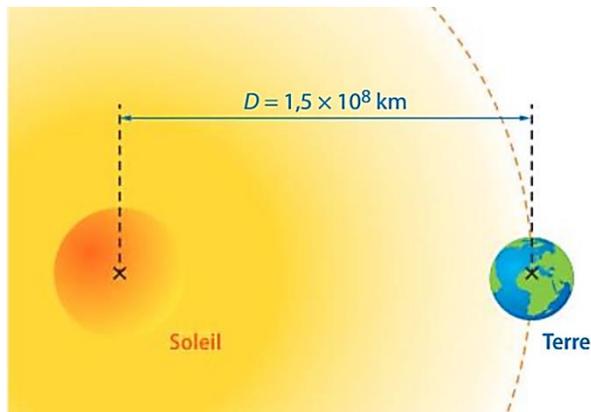
Q6. En déduire la température moyenne théorique du système dans le cas où il réémet toute la puissance qu'il reçoit.

Q7. En réalité, la température moyenne terrestre est voisine de $15^\circ C$. Proposer une explication.

Q8. Quelle serait la température moyenne terrestre théorique en absence d'albédo ?

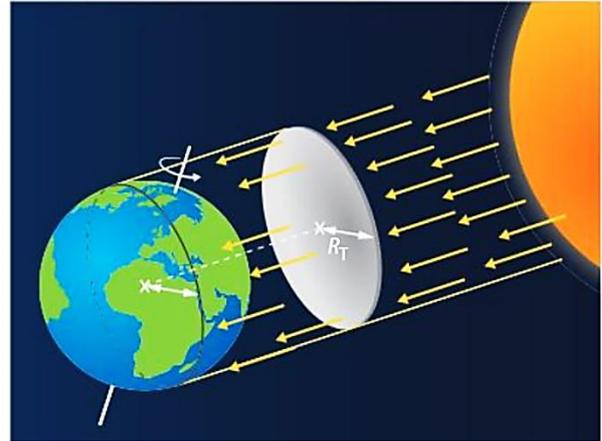
Document 2 : Puissance solaire reçue par le système { Terre ; atmosphère }

Le rayonnement solaire qui se propage dans le vide n'est pas absorbé. À une distance D du Soleil, la puissance totale qu'il émet se répartit sur une sphère de rayon D . On peut alors déterminer la puissance solaire surfacique à cette distance.



Au niveau de la Terre, la puissance solaire surfacique s'étale sur un disque de rayon R_T .

Comme la Terre tourne sur elle-même, cette puissance se répartit sur l'ensemble de la surface du globe terrestre.



Données :

La puissance surfacique p est la puissance par unité de surface: p en $W \cdot m^{-2}$ $\rightarrow p = \frac{\mathcal{P}}{S}$ $\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{P} \text{ en W} \\ S \text{ en m}^2 \end{array} \right.$

Surface d'une sphère de rayon R : $S_{\text{sphère}} = 4\pi \cdot R^2$

Surface d'un disque de rayon R : $S_{\text{disque}} = \pi \cdot R^2$

Température moyenne à la surface du Soleil : $T_s = 5505 \text{ }^\circ\text{C}$

Rayon du Soleil : $R_s = 6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$

Document 3 : Compléments scientifiques

• Loi de Stefan-Boltzmann

Un corps noir est un objet théorique qui absorbe totalement le rayonnement électromagnétique qu'il reçoit. Sous l'effet de l'agitation thermique induite, ce corps émet un rayonnement électromagnétique qui ne dépend que de la température.

La puissance surfacique p émise par un corps noir est liée à sa température par la relation de Stefan-Boltzmann:

$$p \text{ en } W \cdot m^{-2} \rightarrow p = \sigma \times T^4$$

$T \text{ en K}$
 $\sigma \text{ en } W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$

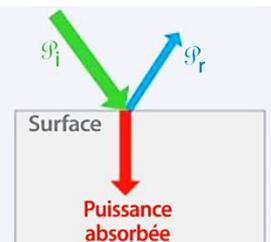
avec $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$
(constante de Stefan-Boltzmann)

• Albédo

L'albédo α d'une surface est une grandeur sans unité qui caractérise son aptitude à renvoyer par diffusion et/ou réflexion le rayonnement qui lui parvient:

$$\alpha = \frac{|\mathcal{P}_r|}{\mathcal{P}_i} = \frac{p_r}{p_i}$$

avec \mathcal{P}_r la puissance renvoyée par la surface
 \mathcal{P}_i la puissance incidente sur cette même surface



• Conversion des températures

$$T \text{ en K} \rightarrow T = \theta + 273,15$$

$\theta \text{ en } ^\circ\text{C}$

CORRECTION

Q1. Elle dépend de la proportion du rayonnement solaire réfléchi par l'atmosphère (albedo) et du rayonnement infrarouge absorbé par l'atmosphère (effet de serre).

Q2. Le Soleil étant considéré comme un corps noir de température T_s , la loi de Stefan-Boltzmann permet de calculer sa puissance surfacique : $p_s = \sigma \times T_s^4$ AN: $p_s = 5,67 \times 10^{-8} \times (5\,505 + 273,15)^4 = 6,32 \times 10^7 \text{ W.m}^{-2}$

Q3. La surface du Soleil, de rayon R_s , est : $S_s = 4\pi \times R_s^2$. La puissance solaire émise par la surface du Soleil est donc :

$$P_s = S_s \times p_s \quad \text{soit} \quad P_s = 4\pi \times R_s^2 \times p_s$$

Cette émission par la surface du Soleil est répartie sur une sphère de rayon D au niveau de la Terre, de surface :

$$S = 4\pi \times D^2 \quad \text{avec} \quad D = 1,50 \cdot 10^{11} \text{ (distance Soleil-Terre)}$$

La puissance solaire surfacique p'_s à la distance D entre la Terre et le Soleil est donc : $p'_s = P_s / S$

Ainsi : $p'_s = 4\pi \times R_s^2 \times p_s / 4\pi \times D^2 = R_s^2 \times p_s / D^2$ AN: $p'_s = (6,96 \cdot 10^8)^2 \times 6,32 \cdot 10^7 / (1,50 \cdot 10^{11})^2$
 $= 1,36 \cdot 10^3 \text{ W.m}^{-2}$

Q4. Puissance solaire incidente P_T interceptée par la Terre :

Une portion seulement de la puissance solaire incidente est interceptée par la Terre, de rayon R_T , sur un disque de surface $s = \pi \times R_T^2$

On en déduit la puissance solaire incidente reçue en moyenne par le système {Terre et atmosphère} :

$$P_T = p'_s \times s \quad \text{soit} \quad P_T = p'_s \times \pi \times R_T^2$$

Puissance solaire incidente surfacique p_T reçue en moyenne par la Terre :

Comme la Terre tourne sur elle-même, cette puissance se répartit sur l'ensemble de la surface $S_T = 4\pi \times R_T^2$ de la Terre. Ainsi, la puissance solaire incidente p_T reçue en moyenne par le système {Terre et atmosphère}, appelée puissance surfacique terrestre, est : $p_T = P_T / S_T$

$$\text{Soit : } p_T = p'_s \times \pi \times R_T^2 / (4\pi \times R_T^2) = p'_s / 4 \quad \text{AN: } p_T = 1,36 \cdot 10^3 / 4 = 340 \text{ W.m}^{-2}$$

(garder les valeurs en mémoire sur la calculatrice)

Q5. D'après le doc.3 : $\alpha = |p_r| / p_i$ avec p_i : puissance surfacique incidente reçue par le système {Terre ; atmosphère} soit $p_i = p_T$

Donc la puissance surfacique renvoyée par le système {Terre ; atmosphère} est : $|p_r| = \alpha \times p_T$

Par définition, la puissance solaire surfacique moyenne absorbée par le système {Terre ; atmosphère} est :

$$p_{T(\text{abs})} = p_T - p_r$$

$$\text{soit } p_{T(\text{abs})} = p_T - \alpha \times p_T$$

$$= (1 - \alpha) \times p_T \quad \text{AN: } p_{T(\text{abs})} = (1 - 0,30) \times 340 = 238 \text{ W.m}^{-2}$$

Q6. Le système {Terre et atmosphère} est considéré comme un corps noir de température de surface T_T car il réémet tout le rayonnement qu'il absorbe : $|p_{\text{émise par la Terre}}| = p_{T(\text{abs})}$

On peut donc lui appliquer la loi de Stefan-Boltzmann (document 3) : $T_T = \left(\frac{|p_{\text{émise par la Terre}}|}{\sigma} \right)^{\frac{1}{4}}$

$$\text{Soit : } T_T = \left(\frac{p_{T(\text{abs})}}{\sigma} \right)^{\frac{1}{4}} \quad \text{AN: } T_T = \left(\frac{238}{5,67 \cdot 10^{-8}} \right)^{\frac{1}{4}} = 255 \text{ K soit } -18 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Q7. D'après le doc.1, les gaz de l'atmosphère (principalement l'eau et le dioxyde de carbone) absorbent et renvoient vers la Terre une partie du rayonnement infrarouge qu'elle émet, entraînant le réchauffement de la surface de la Terre. C'est donc l'effet de serre qui est responsable de l'augmentation de la puissance reçue par le sol terrestre et donc de l'augmentation de sa température.

Q8. Sans albedo pour le système {Terre et atmosphère} : $p_{T(\text{abs})} = p_T$

$$\text{soit : } p_{T(\text{abs})} = 340 \text{ W.m}^{-2}$$

$$\text{D'après Q6 : } T_T = \left(\frac{p_{T(\text{abs})}}{\sigma} \right)^{\frac{1}{4}} \quad \text{AN: } T_T = \left(\frac{340}{5,67 \cdot 10^{-8}} \right)^{\frac{1}{4}} = 278 \text{ K, soit effectivement } 5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

(l'albedo est donc responsable de la diminution de la température du système)