

Chapitre 18 : Gaz parfait et bilan d'énergie d'un système

Feuille d'évaluation à rendre obligatoirement avec les réponses

Correction Activité documentaire n°18.6 : Température terrestre moyenne

Capacités exigibles

- Effectuer un bilan quantitatif d'énergie pour estimer la température terrestre moyenne, la loi de Stefan-Boltzmann étant donnée.
- Discuter qualitativement l'effet de serre sur la température terrestre moyenne.

Analyse des documents

1 a. Le Soleil est considéré comme un corps noir à la température T_s , donc sa puissance surfacique p_s obéit à la loi de Stefan-Boltzmann : $p_s = \sigma \times T_s^4$, d'où $p_s = 5,67 \times 10^8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4} \times (5\,778 \text{ K})^4$; $p_s = 6,32 \times 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

b. La surface du Soleil, de rayon R_s , est : $S_s = 4\pi \times R_s^2$. De plus, la puissance solaire émise par la surface du Soleil est : $\mathcal{P}_s = S_s \times p_s$ soit $\mathcal{P}_s = 4\pi \times R_s^2 \times p_s$.

Cette puissance solaire émise \mathcal{P}_s par la surface du Soleil est répartie sur une sphère de rayon D , D étant la distance Soleil-Terre. Cette sphère a une surface $S = 4\pi \times D^2$ avec $D = 1,50 \times 10^{11} \text{ m}$ (schéma **A**). La puissance solaire surfacique p'_s à la distance D entre la Terre et

le Soleil est donc : $p'_s = \frac{\mathcal{P}_s}{S}$ ainsi $p'_s = \frac{4\pi \times R_s^2 \times p_s}{4\pi \times D^2} = \frac{R_s^2 \times p_s}{D^2}$;

$$\text{donc } p'_s = \frac{(6,96 \times 10^8 \text{ m})^2 \times 6,32 \times 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}{(1,50 \times 10^{11} \text{ m})^2} ;$$

$$p'_s = 1,36 \times 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}.$$

c. 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} :

$$\mathcal{P}_s = p'_s \times s \text{ soit } \mathcal{P}_s = p'_s \times \pi \times R_T^2.$$

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

terrestre, est $p_T = \frac{\mathcal{P}_s}{S_T}$ donc $p_T = \frac{p'_s \times \pi \times R_T^2}{4\pi \times R_T^2}$ soit $p_T = \frac{p'_s}{4}$; donc

$$p_T = \frac{1,36 \times 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}{4} = 340 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ (en gardant les valeurs en mémoire sur la calculatrice).}$$

2 a. D'après les DONNÉES, l'albédo du système {Terre et atmosphère} est $\alpha = 0,30$.

D'après le COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE, l'albedo : $\alpha = \frac{|p_r|}{p_i} = 0,30$ où p_i

est la puissance surfacique incidente reçue par le système {Terre et atmosphère} soit $p_i = p_T$.

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

On en déduit la puissance solaire surfacique moyenne absorbée par le système {Terre et atmosphère}, $p_{T(\text{abs})} = p_T - |p_r|$ soit

$p_{T(\text{abs})} = p_T - \alpha \times p_T$; donc $p_{T(\text{abs})} = (1 - \alpha) \times p_T$; on en déduit :

$$p_{T(\text{abs})} = (1 - 0,30) \times 340 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} ; p_{T(\text{abs})} = 238 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}.$$

b. 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 utiliser la loi de Stefan-Boltzmann rappelée dans le COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE :

$$T_T = \left(\frac{|p_{\text{émise par la Terre}}|}{\sigma} \right)^{\frac{1}{4}} ; \text{ d'où } T_T = \left(\frac{p_{T(\text{abs})}}{\sigma} \right)^{\frac{1}{4}}.$$

$$T_T = \left(\frac{238 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}{5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}} \right)^{\frac{1}{4}} = 255 \text{ K} \text{ soit } -18 \text{ }^\circ\text{C}.$$

c. Sans albédo pour le système {Terre et atmosphère} : $p_{T(\text{abs})} = p_T$ soit $p_{T(\text{abs})} = 340 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

$$T_T = \left(\frac{340 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}{5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}} \right)^{\frac{1}{4}} = 278 \text{ K}, \text{ soit effectivement } 5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

L'albédo est donc responsable de la diminution de la température du système.

Remarque : on peut également écrire :

$$T_T = \left(\frac{R_s^2 \times \sigma \times T_s^4}{D^2 \times 4 \times \sigma} \right)^{\frac{1}{4}} = T_s \times \left(\frac{R_s}{2D} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{soit } T_T = 5\,778 \text{ K} \times \left(\frac{6,96 \times 10^8 \text{ m}}{2 \times 1,50 \times 10^{11} \text{ m}} \right)^{\frac{1}{2}} = 278 \text{ K}.$$

d. La température terrestre moyenne au niveau du sol est voisine de $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Or d'après la question précédente, l'albédo n'est pas responsable d'un réchauffement. D'après le schéma **C**, 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 et des couches basses de l'atmosphère. 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.

3 Sur la photographie **D**, les observations indiquent que la température des habitations est diminuée par le dépôt à leur surface d'une couche de chaux blanche. Cela s'explique par l'augmentation forte de l'albédo des murs blancs qui entraîne une diminution de la température moyenne du mur (façon de faire du froid avec de la chaux).

Un pas vers le cours

4 La température moyenne de la surface terrestre dépend de la puissance solaire reçue par unité de surface mais aussi de l'albédo du système {Terre et atmosphère} ainsi que de l'effet de serre dû à certains gaz présents dans l'atmosphère.

