

TD sur l'effet de serre

I. Température de la Terre

On admet que le Soleil et la Terre rayonnent comme des corps noirs de températures T_S et T_T . Données : rayon de la Terre $R_T = 6370 \text{ km}$, rayon du soleil $R_S = 697\,000 \text{ km}$, distance Terre-Soleil $d_{TS} = 144.10^6 \text{ km}$.

On rappelle les lois de Stefan : $\phi(T) = \sigma T^4$ avec $\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$ et de Wien : $\lambda_M T = 2900 \mu\text{m.K}$.

1. 1.a. Déterminer la température T_S à la surface du Soleil sachant qu'à l'extérieur de l'atmosphère le maximum du spectre qu'il émet est situé à 520 nm (le Soleil n'est vu jaune qu'à travers l'atmosphère). Quelle est alors la puissance P_S émise par le Soleil?

1.b. En déduire la puissance P_{recue} par la Terre en provenance du Soleil.

1.c. Quelle serait alors la température d'équilibre T_{0T} de la Terre?

2. La Terre émet la puissance P_T , l'atmosphère la puissance P_a vers le Terre et P_a vers l'espace. De plus l'atmosphère est transparente pour la lumière visible et elle absorbe la lumière infrarouge.

2.a. Faire un schéma des flux puis écrire les bilans d'énergie pour l'atmosphère et la Terre.

2.b. En déduire la température de la Terre dans ce modèle.

II. Vitre et effet de serre

On considère une vitre comme un corps gris : elle a les caractéristiques du corps noir pour des rayonnement incidents infra-rouge et est totalement transparente pour les rayonnements visibles.

Les murs sont assimilés à des corps noirs. On étudie une pièce avec une ouverture vitrée. Vitres ouvertes, cette pièce a une température $\theta_0 = 25^{\circ}\text{C}$.

On rappelle les lois de Stefan : $\phi(T) = \sigma T^4$ avec $\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$ et de Wien : $\lambda_M T = 2900 \mu\text{m.K}$.

On note ϕ_S le flux surfacique du rayonnement solaire incident arrivant sur la vitre.

1. Évaluer la valeur de ϕ_S .

2. Quelle est la valeur de λ_M associée au rayonnement thermique des murs. A quel domaine du spectre cela correspond-il?

3. Expliquer qualitativement pourquoi la vitre crée un effet de serre dans la pièce.

4. On note ϕ_p le flux surfacique du rayonnement thermique de la pièce et ϕ_v le flux surfacique du rayonnement thermique de la vitre.

Exprimer au niveau de la vitre et de la pièce deux relations correspondant aux bilan énergétiques. En déduire les températures de la pièce et de la vitre.

Réponses : $\phi_S = 447 \text{ W.m}^{-2}$, $\phi_p = 2\phi_S$ et $T_p = 84,6^{\circ}\text{C}$.

III. Rayonnement et convection

On rappelle les lois de Stefan : $\phi(T) = \sigma T^4$ avec $\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$ et de Wien : $\lambda_M T = 2900 \mu\text{m.K}$.

Quels sont les ordres de grandeur de la puissance perdue par le mur d'une maison de surface $S = 10 \text{ m}^2$ dont la température extérieure est $T = 10^{\circ}\text{C}$:

a- Par convection de l'air extérieur à la température $T_0 = 0^{\circ}\text{C}$ (le coefficient conducto-convectif de la loi de Newton $P = hS(T_{fluide} - T_{paroi})$ est $h = 10 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$).

b- Par rayonnement en le considérant comme un corps noir. Préciser aussi la longueur d'onde pour laquelle l'intensité émise est maximale.

Comparer les deux puissances. Commenter

En fait, il faut tenir compte du rayonnement de l'air extérieur vers le mur. En déduire l'expression de la puissance totale P' perdue par le mur par rayonnement (elle contient deux termes). Montrer que pour T voisin de T_0 , P' suit une loi, type loi de Newton, de la forme $P' = h'S(T - T_0)$. Exprimer h' en fonction de σ et T_0 (penser à utiliser deux fois l'identité remarquable $a^2 - b^2 = (a - b)(a + b)$).

Réponses: $P_{conv} = 1 \text{ kW}$, $P_{ray} = 3,6 \text{ kW}$, $h' = 4\sigma T_0^3$, $P' = 0,5 \text{ kW}$

IV. Température dans un igloo

Un igloo est assimilé à une demi-sphère de rayon $1,5\text{ m}$ avec pour épaisseur de glace 30 cm (la calotte sphérique est donc compris entre les rayons $R_1 = 1,5\text{ m}$ et $R_2 = 1,8\text{ m}$). On note T_{ext} et T_{int} la température de l'air extérieur et de l'air intérieur. On donne $\lambda_{glace} = 0,25\text{ W.m}^{-1}.K^{-1}$ (la conductivité thermique de la glace).

1. Montrer que la résistance thermique de l'igloo peut se mettre sous la forme $R_{th} = \frac{1}{2\pi\lambda}(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2})$. En déduire l'expression de la puissance émise par rayonnement.
2. Un homme se tient accroupi à l'intérieur de l'igloo. Donner un ordre de grandeur de la puissance rayonnée par cet homme? (on l'assimilera à un cube d'arête $a = 50\text{ cm}$). On rappelle la loi de Stefan : $\phi(T) = \sigma T^4$ avec $\sigma = 5,67.10^{-8}\text{ W.m}^{-2}.K^{-4}$
3. Pour $T_{ext} = -5^{\circ}C$, estimer la température à l'intérieur de l'igloo.