

Effet de serre

I. Les trois modes de transfert thermique

Convection : les différences de températures au sein d'un fluide engendrent des différences de masse volumique. Ainsi les particules se mettent naturellement en mouvement, les fluides chauds sont moins denses et donc montent, les fluides froids sont plus denses et donc descendent... Ce déplacement de matière induit un déplacement de la chaleur.

Diffusion : c'est un transfert d'énergie thermique sans mouvement macroscopique du support. Elle a pour origine des inhomogénéités de température et se produit des fortes vers les basses températures.

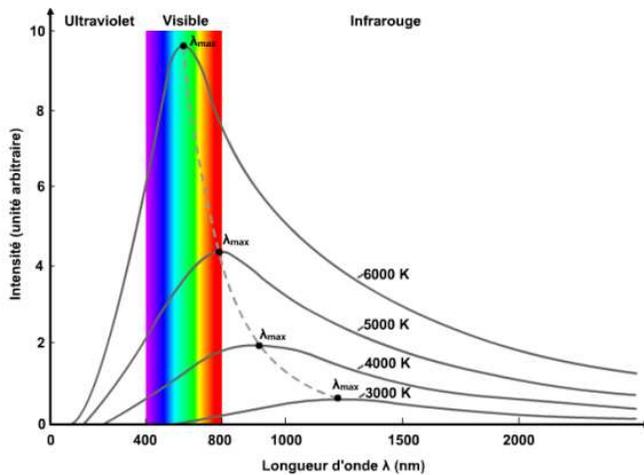
Rayonnement : c'est un transport d'énergie sans mouvement macroscopique du support. Les particules chargées qui composent la matière se mettent en mouvement sous l'effet de l'agitation thermique et émettent un champ électromagnétique qui transporte (ou rayonne) de l'énergie. Le rayonnement est le seul transfert thermique qui peut se propager dans le vide.

II. Un modèle : le rayonnement du corps noir

Le corps noir : un modèle

Un corps noir désigne un objet idéal qui absorbe parfaitement toute l'énergie électromagnétique (toute la lumière quelle que soit sa longueur d'onde) qu'il reçoit. Cette absorption se traduit par une agitation thermique qui provoque l'émission d'un rayonnement thermique, dit rayonnement du corps noir.

Spectre d'émission du corps noir en fonction de sa température



loi de Stefan : $\phi(T) = \sigma T^4$
avec $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$

loi de Wien : $\lambda_M T = 2900 \mu\text{m.K}$

AN : rayonnement émis par un corps humain:

III. Modélisation pour comprendre l'effet de serre

On admet que le Soleil et la Terre rayonnent comme des corps noirs de températures respectives 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 $d_{TS} = 144.10^6 \text{ km}$, 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 : $\lambda_M T = 2900 \text{ }\mu\text{m.K}$.

Le soleil émet une puissance maximale pour une longueur d'onde $\lambda = 510 \text{ nm}$. En déduire sa température.

Exprimer la puissance totale émise par le soleil.

Exprimer la portion de cette puissance reçue par la Terre et en déduire le flux surfacique du rayonnement émis par le soleil et reçue par la Terre.

La Terre et l'atmosphère sont supposées rayonner comme le corps noir. La conduction thermique et la convection sont ignorées. Le rayonnement solaire sur Terre a pour intensité $\phi_S = 340 \text{ W.m}^{-2}$ et la température moyenne de la Terre est $T_T = 288 \text{ K}$.

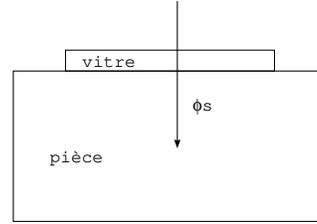
Dans une première approche, on suppose qu'il n'y a pas d'atmosphère. La Terre reçoit directement le flux solaire. Quelle est la température T_0 de la Terre en régime stationnaire dans ce modèle?

On adopte un modèle dans lequel l'atmosphère ne transmet que $\alpha = 50 \%$ du rayonnement incident émis par le soleil et que $\beta = 10 \%$ du rayonnement émis par la Terre.

Réaliser un schéma avec les corps noirs Terre et atmosphère et les rayonnements présents. Déduire de l'équilibre thermique de la Terre et de l'équilibre thermique de l'atmosphère, la température de la Terre dans ce modèle.

IV. Exercice: serre de jardin

On considère une vitre comme un corps gris: elle a les caractéristiques du corps noir pour des rayonnements incidents dans l'infra-rouge et est totalement transparente pour les rayonnements solaires émis dans le visible. Les murs sont assimilés à des corps noir. On étudie une pièce avec une ouverture vitrée. Vitres ouvertes, cette pièce a une température $\theta_0 = 25^{\circ}C$.



On rappelle: la constante de Stefan: $\sigma = 5,87.10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$, la loi de Wien: $\lambda_{max}T = 2898 \mu m.K$.

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

1. Evaluer la valeur de ϕ_S .
2. Quelle est la valeur λ_m associée au rayonnement thermique des murs. A quel domaine du spectre cela correspond-il?
3. 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 bilans énergétiques. En déduire les températures de la pièce et de la vitre.

Réponses: 1- $\phi_S = 447 W.m^{-2}$ 2- $\lambda_{max} \approx 10 \mu m$ 3- $T_p = 85^{\circ}C$.

V. Exercice: température dans un igloo

Un igloo est composé de glace entre les deux demi-sphères de rayons $R_1 = 1,5 m$ et $R_2 = 1,8 m$. On note T_{ext} et T_{int} , les températures de l'air extérieur et de l'air intérieur. On donne $\lambda_{glace} = 0,5 W.m^{-1}.K^{-1}$ (la conductivité thermique de la glace).

1. Le vecteur densité de courant thermique à travers la glace s'écrit $\vec{j}_Q = j_Q(r)\vec{e}_r$. On note $P_{th}(r)$ le flux thermique à travers la demi sphère de rayon r . Exprimer $P_{th}(r)$ en fonction de r et $j_Q(r)$ et montrer que P_{th} est une constante indépendante de r .

2. Déduire de la loi de Fourier que l'on a $P_{th} = \frac{2\pi\lambda R_1 R_2 (T_{int} - T_{ext})}{R_2 - R_1}$.

3. Un homme se tient accroupi à l'intérieur de l'igloo. Donner un ordre de grandeur de la puissance rayonnée dans l'air par cet homme? (on l'assimilera à un cube d'arête $a = 50 cm$). On rappelle la loi de Stefan : $\phi(T) = \sigma T^4$ avec $\sigma = 5,67.10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$.

4. Pour $T_{ext} = -5^{\circ}C$, estimer la température à l'intérieur de l'igloo.

Réponse: $T_{int} = 23^{\circ}C$