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.

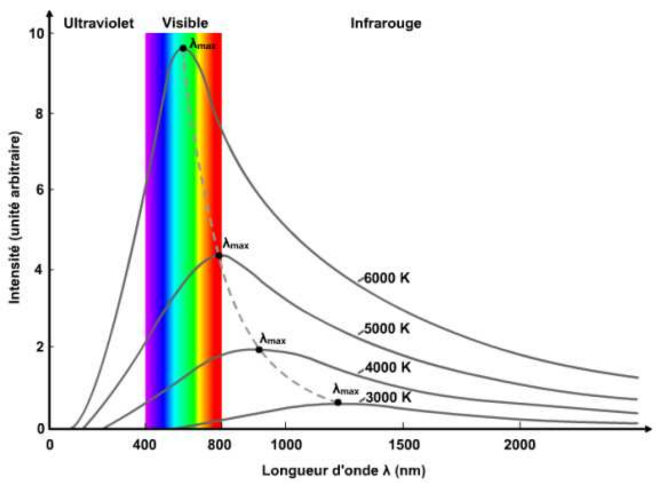
Rayonnement : c'est un transport d'énergie sans mouvement macroscopique du support. Les particules chargées qui composent la matière se mettent en mouvement sous l'effet de l'agitation thermique et émettent un champ électromagnétique qui transporte (ou rayonne) de l'énergie. Le rayonnement est le seul 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 $\sigma = 5,67.10^{-8}\ W.m^{-2}.K^{-4}$

Plus la température du corps est élevée et plus l'énergie surfacique rayonée est grande

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

Plus la température du corps est élevée et plus la longueur d'onde pour laquelle il émet une intensité maximale est faible

AN : rayonnement émis par un corps humain:

$T = 310K \quad \lambda_M = \frac{2900}{310} \simeq 10\ \mu m$ domaine de l'IR

$P = \sigma T^4 S = 5,67.10^{-8} \times (310)^4 \times 0,66 = 350 W$

$V = \frac{M}{\rho} = \frac{4}{3}\pi R^3$ soit $R = \left(\frac{3M}{4\pi\rho}\right)^{1/3} = 0,23\ m \qquad S = 4\pi R^2 = 0,66\ m^2$

(on assimile une personne à une sphère $M = 50 kg$)

AN : le soleil émet un maximum de puissance pour $\lambda = 520\ nm$ (jaune) ($R_s = 6,96.10^5\ km$):

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: $R_T = 6370\ km$, rayon du soleil: $R_S = 697\ 000\ km$, distance Terre-Soleil $d_{TS} = 144.10^6\ km$, les lois de Stefan : $\phi(T) = \sigma T^4$ avec $\sigma = 5,67.10^{-8}\ W.m^{-2}.K^{-4}$ et de Wien : $\lambda_M T = 2900\ \mu m.K$.

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

loi de Wien : $T = \frac{2900.10^{-6}}{510.10^{-9}} \approx \frac{3}{5} 10^4 = 6000 K$

(valeur exacte : $T = 5700 K$)

Exprimer la puissance totale émise par le soleil.

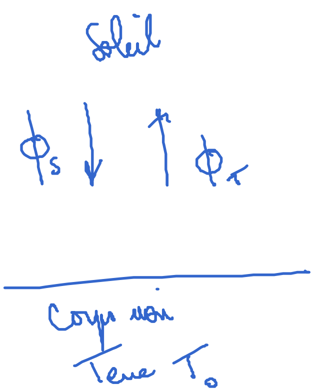
loi de Stefan : $P = \sigma T^4 S = \sigma T^4 4\pi R_S^2 = 3,65.10^{26} W$

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 est sur une orbite de rayon d_{TS}.
La puissance totale émise par le soleil se répartit sur une sphère de rayon d_{TS}
soit $P_{surfacique} = \frac{P}{4\pi d_{TS}^2}$. Sur cette sphère, la Terre reçoit ce qui correspond à la surface πR_T^2 (surface intersection entre la Terre et la sphère de rayon d_{TS})
soit $P_{\text{reçue Terre}} = \frac{P}{4\pi d_{TS}^2}\pi R_T^2$ d'où une puissance surfacique reçue par la Terre : $P_{\text{Terre surfacique}} = \frac{P}{4\pi d_{TS}^2}\frac{\pi R_T^2}{4\pi R_T^2} = 350\ W m^{-2}$

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 $\phi_S = 340\ W.m^{-2}$ et la température moyenne de la Terre est $T_T = 288\ K$.

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?



régime stationnaire pour le corps noir Terre :

$\phi_T = \phi_S$

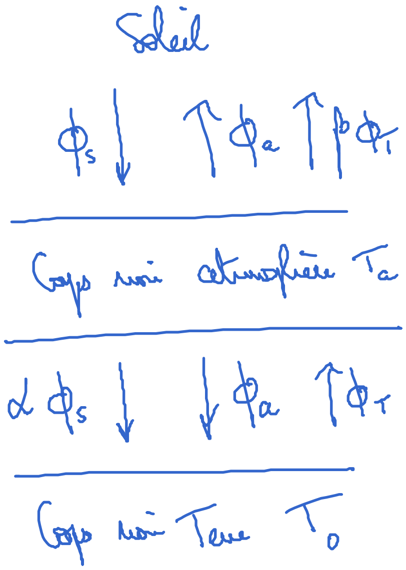
loi de Stefan : $\phi_T = \sigma T_0^4$

$T_0 = \left(\frac{\phi_S}{\sigma}\right)^{1/4} = 278 K$

plus faible que la température attendue, on choisit un autre 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: 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 température de l'air extérieur et de l'air intérieur. On donne $\lambda_{glace} = 0,25\ W.m^{-1}.K^{-1}$ (la conductivité thermique de la glace).

1. Le vecteur densité de courant thermique à travers la glace s'écrit $\overrightarrow{j_Q} = j_Q(r)\overrightarrow{e_r}$. 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 $P_{th} = \dfrac{2\pi\lambda R_1 R_2 (T_{int} - T_{ext})}{R_2 - R_1}$.

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 $T_{ext} = -5^0 C$, estimer la température à l'intérieur de l'igloo.

Réponse: $T_{int} = 43^0 C$