Rayonnement thermique

Applications directes du cours

$\boxed{1}$ On admet que le Soleil est un corps noir dont on veut estimer la température T_S. On note R_S le rayon du Soleil, R_T le rayon de la Terre, d la distance Terre-Soleil et $T = 300$ K la température de la surface terrestre. On ne considère pas l'effet de l'atmosphère.
a) Calculer la puissance reçue par la Terre de la part du Soleil.
b) En écrivant l'équilibre thermique de la Terre, en déduire une équation liant T, T_s, d et R.
c) Le Soleil est vu de la terre sous un angle $\alpha = 10^{-2}$rad. En déduire la température de surface du Soleil.

$\boxed{2}$ On donne la température du Soleil $T_S = 5800$ K, le rayon du soleil $R_S = 7,0 \cdot 10^5$ km, le rayon de la Terre $R_T = 6400$ km et la distance Terre-Soleil $d_{TS} = 1,5 \cdot 10^8$ km.
a) Calculer la puissance totale rayonnée par le Soleil.
b) En déduire la puissance totale reçue par la Terre en faisant une approximation.
c) En déduire que la puissance surfacique moyenne reçue sur Terre vaut $P_{surf} = 350$ W·m^{-2}.

$\boxed{3}$ La puissance surfacique moyenne reçue du Soleil vaut $P_{surf} = 350$ W·m^{-2}. L'atmosphère et la Terre ont un albédo $A = 0,3$: ils réfléchissent 30% de l'énergie incidente. L'atmosphère émet un rayonnement infrarouge vers la Terre. On suppose que l'atmosphère (température T_a) laisse intégralement passer 67% du rayonnement solaire, mais filtre totalement le rayonnement émis par la Terre (température T).
a) En se plaçant au-dessus de l'atmosphère, écrire pour le système Terre + atmosphère de température le bilan radiatif.
b) Comment s'écrit pour la Terre de température T le bilan radiatif ? En déduire la température terrestre.

$\boxed{1}$ $T = 6000$ K. $\boxed{2}$ a) $P_S = 4 \cdot 10^{26}$ W, b) $P_T = 1,8 \cdot 10^{17}$ W.

Exercices

Données :
Loi de Stefan – La puissance surfacique rayonnée par un corps noir pour la totalité du domaine spectral est

$$\varphi = \sigma T^4 \text{ avec } \sigma = 5,67.10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$$

La loi de Wien – La longueur d'onde λ_m pour laquelle φ_λ est maximale est telle que

$$\lambda_m T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m.K}$$

1. Rayonnement et convection

(Comparaison des pertes thermiques par convection et par rayonnement pour une maison.)
On souhaite comparer les deux phénomènes dans le cas d'un mur de surface $S = 10$ m^2, de température de surface $T_i = 10$°C face à l'air extérieur à la température $T_e = 0$°C.

1. Le coefficient conducto-convectif avec l'air extérieur est $h = 10$ W.m^{-2}.K^{-1}. Évaluer numériquement les pertes thermiques de ce mur par ce mode de transfert en utilisant la loi de Newton

$$P = h(T_i - T_e)S$$

2. On suppose que le mur rayonne comme un corps noir. Préciser λ_m, longueur d'onde pour laquelle le flux radiatif est maximal. Évaluer numériquement les pertes thermiques par rayonnement.
3. En fait l'air extérieur rayonne aussi comme un corps noir, et fournit par ce mode de transfert un flux thermique au mur. En ajoutant ce phénomène, évaluer numériquement le flux radiatif total cédé par le mur à l'extérieur.
4. L'écart de température étant petit $T_i \simeq T_e$, montrer que le flux radiatif total suit également une « loi de Newton », dont on précisera le coefficient de transfert h' en fonction de σ et T_e.

2. Astéroïde

On considère un astéroïde sphérique de rayon R, de masse volumique homogène ρ et de capacité thermique massique c. On note $T(t)$ sa température et $T(0) = T_0$ sa température initiale. Cet astéroïde est perdu dans l'infinité de l'univers.

1. Justifier que les seuls échanges énergétiques possibles avec l'extérieur se font par rayonnement.
   La température de l'univers est considérée suffisamment faible pour être prise nulle. On suppose que l'astéroïde rayonne comme un corps noir.
2. Sa température initiale est $T_0 = 20$ K. Dans quel domaine électromagnétique émet-il maximalement ?
3. Montrer que l'équation différentielle vérifiée par T est

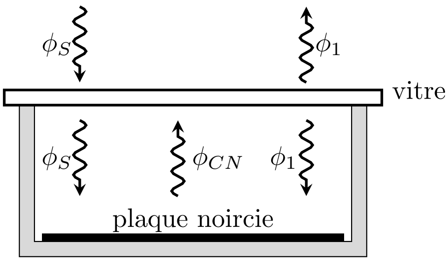
$$\rho c \frac{R}{3} \frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}t} = -\sigma T^4$$

4. En déduire que la solution est :

$$T(t) = \frac{T_0}{(1 + 3\alpha T_0^3 t)^{1/3}} \quad \text{avec} \quad \alpha = \frac{3\sigma}{\rho c R}$$

3. Effet de serre

On étudie l'effet de serre produit par l'interposition d'une vitre au-dessus d'une plaque qui reçoit le rayonnement solaire. La plaque est noircie et assimilée à un corps noir. Le verre est supposé totalement transparent au rayonnement solaire (sauf à la question 3 où l'on tient compte du rayonnement solaire réfléchi). La vitre est en revanche totalement absorbante pour le rayonnement infra-rouge émis par la plaque qui absorbe le rayonnement solaire. On désigne par ϕ_S le rayonnement solaire surfacique supposé arriver normalement à la vitre et à la plaque.



1. On suppose l'équilibre radiatif de la plaque et de la vitre. Écrire les équations exprimant ces équilibres et en déduire la température T de la plaque.
Application numérique :
$\phi_S = 0,8$ kW.m^{-2} ; $\sigma = 5,67.10^{-8}$ W.m^{-2}.K^{-4} ;
calculer T et la température T_1 de la vitre.

2. Reprendre la question précédente dans le cas de deux vitres, puis de n vitres.

3. Chaque vitre réfléchit une fraction $r = 0,1$ de l'énergie solaire incidente. On néglige toujours l'absorption du rayonnement solaire par les vitres. Montrer qu'il existe une valeur optimale n_0 du nombre de vitres.

4. Utilisation thermique de l'énergie solaire

Une surface noire absorbe totalement le rayonnement solaire auquel elle est exposée et le réémet suivant une loi de corps noir dont la température T_0 est celle de la surface.

1. Faire le bilan thermique de la surface en négligeant les pertes par conduction et convection et trouver l'expression de la température T_0 en fonction de J, puissance solaire reçue par unité de surface. Calculer T_0 pour une valeur de J égale à 800 W·m^{-2}. En déduire le domaine spectral du rayonnement émis.
2. On interpose une vitre entre la surface noire et le rayonnement solaire. Sachant que le verre absorbe totalement l'infrarouge de longueur d'onde supérieure à 1 μm et que le rayonnement solaire n'en contient presque pas au niveau du sol, faire le nouveau bilan énergétique au niveau de la surface ainsi que celui de la vitre. En déduire la nouvelle température T_1 de la surface.
3. On fait circuler de l'eau au contact de la surface noire. L'eau passe en dessous de la surface noire, la vitre proposée à la question précédente est toujours présente entre la surface noire et le rayonnement solaire. L'eau arrive à la température $t_3 = 10^o$C et maintient la surface à la température $t_2 = 60^o$C. Quelle aire de capteur faut-il utiliser pour produire 20 litres d'eau chaude à 60^{o}C par heure ? Quelle fraction d'énergie incidente est captée (rendement) ?

On donne la capacité thermique massique de l'eau $c_{eau} = 4,18 \cdot 10^3$ J·kg^{-1}·K^{-1}.

5. Feuille d'aluminium entre deux parois planes

Deux parois planes, parallèles, de grandes surfaces, dont les températures sont celles de deux sources aux températures T_1 et T_2 constantes, définissent une enceinte vide, à l'intérieur de laquelle on dispose parallèlement aux parois un écran fait d'une feuille d'aluminium d'épaisseur e. Cet écran, de capacité thermique massique c, de masse volumique μ, de température initiale T_0, sépare l'enceinte en deux parties. Tous les solides sont considérés comme des corps noirs. On suppose que les températures T_1 et T_2 sont proches de T_0.

1. Faire le bilan des flux surfaciques émis par les différentes surfaces.
2. Montrer que la température T de la feuille d'aluminium peut se mettre sous la forme : $T(t) = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + B$ où l'on exprimera A, B et τ en fonction de T_1, T_2, T_0, σ (contente de Stefan) μ, c et e.