TH4 – Rayonnement thermique

A – Travaux dirigés

TH41 – Corps noir dans un four

On place à l'intérieur d'un four un cube de côté a, de capacité thermique massique c et de masse m. Le four est maintenu à la température T_1. Le solide est initialement à la température T_0. Le four et le solide sont assimilés à des corps noirs. On suppose que la température est uniforme à l'intérieur du cube et que : $\frac{T_0-T_1}{T_1} \ll 1$.

1. Quelle est la condition sur les températures pour ne tenir compte que des transferts thermiques radiatifs ?
2.
- Démontrer que la température du cube vérifie l'équation différentielle :

$$\frac{dT}{dt}+\frac{T}{\tau}=\frac{T_1}{\tau}$$

Où l'on exprimera τ en fonction de m (masse du cube), c (capacité thermique massique du cube), σ (constante de Stefan), T_1 et S (la surface du cube).

- Déterminer l'évolution temporelle de la température T(t) du cube.

Rép : 1. T élevée… 2. $T=(T_0-T_1)e^{-\frac{t}{\tau}}+T_1$

TH42 – L'effet de serre « atmosphérique »

On considère que le soleil se comporte comme un corps noir à la température T_s et que la terre se comporte comme un corps noir à la température T_0.

I – Sans tenir compte de l'atmosphère

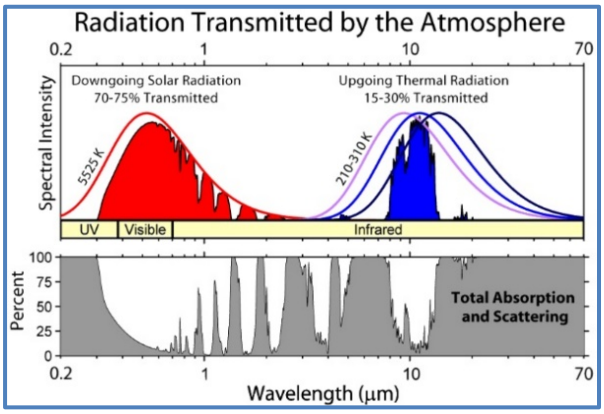
1. Quelle est l'expression de la puissance totale rayonnée par le soleil P_s en fonction de σ, T_s et R_s ?
2. Quelle est l'expression de la puissance totale reçue par la terre P_T en fonction de σ, T_s, R_s, R_t et d ?
3. Déterminer la température à la surface du soleil T_s sachant que le maximum du spectre qu'il émet se situe à $\lambda_m = 500nm$. Puis T_{e1} celle de la terre sans tenir compte de l'atmosphère.

II – En tenant compte de l'atmosphère et de l'Albédo

4. En réalité le rayonnement émis par la terre est piégé par l'atmosphère et constitue ce qu'on appelle l'effet de serre. L'atmosphère laisse passer le rayonnement solaire qui est transparente dans le visible mais absorbe l'infrarouge. On peut considérer l'atmosphère comme un corps noir qui émet dans l'infrarouge. Déterminer la température de surface de la terre T_{e1} en tenant compte de l'atmosphère. Conclure.
5. L'ensemble {terre + atmosphère} réfléchit une partie de l'énergie qu'elle reçoit de la part du soleil et absorbe le reste. La fraction réfléchie s'appelle l'albédo qu'on note A et dont on donne la valeur numérique $A = 0{,}31$. Déterminer la température de surface de la terre T_{e2} en tenant compte de l'atmosphère. Conclure.

III – Amélioration du modèle

6. En s'aidant du document suivant, comment pourrait-on améliorer le modèle ?
7. Pourquoi le rejet par les activités humaines de méthane et de CFC dont la bande d'absorption est dans l'intervalle 8-12 μm doit-il être limité au maximum ?



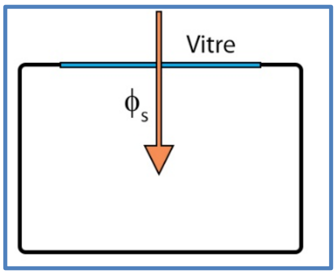
Données :

- Rayon du soleil : $R_s = 700\,000\ km$
- Rayon de la terre : $R_T = 6400\ km$
- Distance terre-soleil : $d = 1ua = 150\ 10^6\ km$
- Constante de Stefan : $\sigma = 5{,}67\ 10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$
- La loi de Wien : $\lambda_{max} T = 2898\ \mu m.K$

Rép : 1. $P_s = 4\pi R_s^2 \times \sigma T_s^4$ 2. $P_T = \frac{\pi R_T^2 R_S^2}{d^2} \times \sigma T_s^4$ 3. $T_{e1} = T_s \times \left(\frac{R_S^2}{4d^2}\right)^{\frac{1}{4}} = 280K$ 4. $T_{e2} = 2^{1/4}\,T_{e1} = 332K$
5. $T_{e3} = \left(2(1-A)\right)^{1/4} T_{e1} = 303K$ 6. L'atmosphère absorbe une fraction α et la Terre une fraction $1-\alpha$ du rayonnement solaire 7. …

B – Exercices supplémentaires

TH43 – Serre de jardin



On considère une vitre comme un corps gris : elle a les caractéristiques du corps noir pour des rayonnements incidents émis par la terre dans l'infra-rouge lointain et est totalement transparente pour les rayonnements solaires émis principalement 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 $\theta_0 = 25°c$.

On rappelle :

- La constante de Stefan : $\sigma = 5{,}67\ 10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$.
- 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. Évaluer la valeur de ϕ_S
2. Quelle est la valeur λ_{max} 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 bilans énergétiques. En déduire les températures de la pièce et de la vitre.

Rép : 1. $\phi_s = 447\ W \cdot m^{-2}$ 2. $\lambda_{max} = 9{,}7\ \mu m\ (IR\ lointain)$ 3. … 4. $T_p = 84{,}6°c$

TH44 – Feuille d'aluminium entre deux parois planes

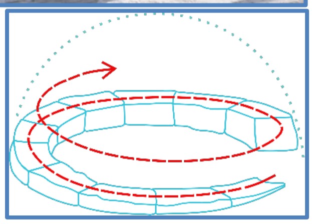
Deux parois planes, parallèles, de grandes surfaces, dont les températures sont celles de deux sources aux températures $T_1\ et\ T_2$ constantes, définissent une enceinte vide, à l'intérieur de laquelle on dispose parallèlement aux parois un écran fait d'une feuille d'aluminium d'épaisseur e. Cet écran, 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 peut se mettre sous la forme : $T = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + B$ où l'on exprimera A,B et τ en fonction de $T_1, T_2, T_0, \sigma\,(constante\ de\ Stefan), \mu, c\ et\ e$.

Rép : 1. Il faut considérer 4 flux thermiques par rapport à la feuille d'aluminium… 2. $T = (T_0 - T_\infty)e^{-\frac{t}{\tau}} + T_\infty$ où $T_\infty = \frac{T_1+T_2}{2}$ $et\ \tau = \frac{\mu c e}{8\sigma T_1^3}$

TH45 – Igloo

Un igloo (mot inuktitut, signifiant « maison »), est un abri construit en blocs de neige. Ils ont habituellement la forme d'un dôme. En raison des excellentes propriétés isolantes de la neige, l'intérieur des igloos est étonnamment confortable. La neige utilisée pour faire un igloo doit avoir une résistance structurelle suffisante pour pouvoir être coupée et empilée de manière appropriée. La meilleure neige à employer à cette fin est une neige qui a été pressée par le vent, ce qui rend compacts les cristaux de glace. Les blocs de neige, découpés à l'aide d'un couteau, doivent être d'environ 1 mètre de long, 40 cm de haut et 30 cm de large. Il est conseillé de les poser en spirale pour faciliter la construction d'un dôme.



L'entrée doit être positionnée le plus bas possible pour éviter que le vent ne s'y engouffre. On donne :

- Conductivité thermique de la neige $\lambda_{neige} = 0{,}25\ Wm^{-1}K^{-1}$; de l'air : $\lambda_{air} = 0{,}025\ Wm^{-1}K^{-1}$
- Résistance thermique entre deux sphères de rayon $R_1\ et\ R_2$: $R_{th} = \frac{1}{4\pi\lambda}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$
- La loi de Newton : $\phi_{th} = hS\left(T_{solide} - T_{fluide}\right)$ où $h_{neige-air} = 50\ Wm^{-2}K^{-1}$
- Constante de Stefan-Boltzmann : $\sigma = 5{,}67\ 10^{-8}\ \mathrm{Wm^{-2}}K^{-4}$
- Température extérieure : $T_{ext} = -5°c$

Question ouverte : Estimer la température T_{int} dans un igloo qui contient un homme.

Rép : Pour un igloo sphérique de rayon 1,5m, on obtient $12°c$ en considérant l'homme comme un corps noir.