



Thermodynamique

TD TH4 Rayonnement thermique

Exercice n°

Capacités

Exploiter les expressions fournies des lois de Wien et Stefan

Analyser quantitativement l'effet de serre en s'appuyant sur un bilan énergétique dans le cadre d'un modèle à une couche.

§	1	2	3
I			
II			

Parcours possibles

- ♪ Si vous avez des difficultés sur ce chapitre : le cours, n°1 ;
- ♪ ♪ Si vous êtes plutôt à l'aise : n°2, n°3

Données –

- Loi de Stefan : $\varphi(T) = \sigma T^4$, avec $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$.
- Loi de Wien : $\lambda_{\text{max}} T = 2898 \text{ } \mu\text{m} \cdot \text{K}$

Exercice n°1 Température de Mars

Avec une température moyenne de 210 K, l'eau liquide n'est quasi pas présente à la surface de la planète Mars. On va étudier dans quelle mesure l'atmosphère permettrait, par effet de serre, une augmentation de la température.

Détermination de la température d'équilibre en l'absence d'atmosphère.

En l'absence d'atmosphère, la principale source d'énergie permettant au sol martien d'atteindre sa température d'équilibre, notée T_m , est le rayonnement solaire. On suppose que T_m est uniforme en tout point de la surface de Mars. Dans ce modèle, on considère que le sol de Mars n'absorbe pas la totalité de la puissance du rayonnement solaire incident, notée $\mathcal{P}_{m,i}$. Il en réfléchit une partie, notée $\mathcal{P}_{m,r}$, selon la loi $\mathcal{P}_{m,r} = \alpha \mathcal{P}_{m,i}$, où α est la constante appelée albédo de Bond de la surface de Mars, valant 0,25.

- Exprimer la puissance totale émise par la surface du Soleil, notée $\mathcal{P}_{s,e}$.
- Exprimer la puissance moyenne surfacique reçue par le sol martien, $p_{m,i}$, au niveau de l'orbite de Mars.
- Exprimer la puissance totale absorbée par la planète, notée $\mathcal{P}_{m,a}$.
- Exprimer la puissance émise par la planète, notée $\mathcal{P}_{m,e}$.
- Justifier que la puissance absorbée doit être égale à la puissance émise, puis en déduire l'expression et la valeur de la température d'équilibre T_m pour la surface de Mars en l'absence d'atmosphère. Commenter.

Utilisation du modèle de l'effet de serre

On considère la même planète Mars. Pour tout ce qui suit, on indique par l'indice r les quantités en rapport avec le rayonnement réfléchi, et par l'indice a celles en rapport avec le rayonnement absorbé. On considère qu'une fraction du rayonnement solaire incident est réfléchi selon la loi $\mathcal{P}_{m,r} = \alpha \mathcal{P}_{m,i}$, et qu'une fraction est absorbée. Quant à l'atmosphère, elle émet elle-même un rayonnement, émis par une fine couche de gaz (épaisseur $e \ll R_m$) totalement absorbante dans l'infrarouge, sauf aux infrarouges pour lesquels elle absorbe seulement une fraction ε du rayonnement. On néglige tout phénomène de réflexion du rayonnement par l'atmosphère.

- Indiquer à quel domaine du rayonnement électromagnétique correspond le rayonnement émis par le Soleil. Préciser également à quel domaine du rayonnement électromagnétique doit correspondre le rayonnement émis par le sol martien.
- À partir de deux bilans de puissances, déterminer la température d'équilibre du sol martien, T'_m , en présence d'une atmosphère en fonction de $\mathcal{P}_{s,e}$, α , ε et r_m , puis en fonction uniquement de T_m et ε .

- Q8. Calculer la valeur du coefficient d'absorption ε qu'il faudrait pour obtenir une température moyenne au sol de 298 K sur Mars. Commenter le résultat.
- Q9. Déterminer la température d'équilibre du sol martien maximale envisageable en supposant que l'on soit capable d'optimiser les coefficients α et ε . Conclure.

Données —

- Rayon moyen de l'orbite martienne autour du Soleil : $r_m = 2,28 \times 10^8$ km
- Rayon moyen de la planète Mars : $R_m = 3,39 \times 10^3$ km
- Rayon moyen du Soleil : $R_s = 6,96 \times 10^5$ km
- Température de surface du Soleil : $T_s = 5778$ K

Exercice n°2 Albédo et îlot de chaleur

On considère une surface S au sol, d'albédo A , en plein soleil et recevant donc une puissance surfacique issue du soleil $P_s = 900 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Cette surface émet quant à elle une puissance surfacique par conducto-convection du type $P_{cc} = h(T - T_{\text{ext}})$ où T est la température de la surface, $T_{\text{ext}} = 30^\circ\text{C}$ la température de l'air extérieur et $h = 20 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ le coefficient de Newton surface-air.

On ne prend pour l'instant pas en compte le rayonnement thermique émis par la surface elle-même. On se place en régime permanent.

- Q1. Déterminer la température de la surface. Applications numériques pour du goudron ($A_{\text{goudron}} = 0,05$) et pour de la pelouse ($A_{\text{pelouse}} = 0,3$).

On cherche maintenant à savoir si le rayonnement émis par la surface a une importance ou non dans la modélisation thermique de celle-ci. On suppose donc maintenant que la surface émet un rayonnement de corps noir.

- Q2. En utilisant les températures calculées à la question précédente, comparer numériquement la puissance émise par conducto-convection et par rayonnement. Le modèle utilisé à la question 1 est-il valide ?
- Q3. Modifier le bilan thermique de la question 1, en prenant en compte le rayonnement émis par la surface.
- Q4. Déterminer T en utilisant un outil numérique (calculatrice ou programme Python).

Exercice n°3 Serre de jardin

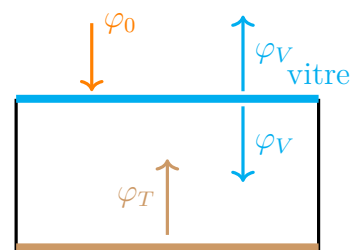
On considère une serre composée de la terre de température T_T , couverte par une vitre en verre de température T_V .

La vitre est éclairée par le soleil et reçoit la puissance solaire surfacique φ_0 , principalement dans le visible.

Le verre absorbe une portion $a = 10\%$ du flux visible, réfléchit une faible portion $r = 10\%$, et transmet la majorité $t = 80\%$ du flux visible. Le verre absorbe tout le rayonnement infra-rouge émis par la terre.

On suppose que l'émission de la vitre et la terre suit les lois du corps noir.

Vitre ouverte, la serre a initialement une température $T_0 = 300$ K.



- Q1. En étudiant l'équilibre en l'absence de vitre, exprimer φ_0 en fonction de T_0 et σ , et faire l'application numérique.
- Q2. Quelle est la valeur λ_{max} associée au rayonnement thermique de la terre ? À quel domaine du spectre appartient-il ?
- Q3. Effectuer les bilans d'équilibre thermique de la vitre et de la terre. En déduire les températures de la vitre et de la terre. Faire les applications numériques. Commenter ;