

Série 12 : Phénomènes de transport

Exercice 1 : Extrait de l'examen d'août 2020

En hiver, Ivo veut prendre sa voiture pour aller à l'EPFL. La température de l'air externe est de 0°C et sur le pare-brise (surface : 1 m², épaisseur : 5 mm) une couche de glace d'épaisseur 1 mm s'est formée. La glace est en équilibre thermique avec l'air externe et la surface externe du pare-brise. Avant de démarrer, Ivo doit dégeler la glace et essaie différentes méthodes.

- a) Il met en fonctionnement le chauffage dans l'habitacle et augmente ainsi instantanément la température de la surface interne du pare-brise à 20°C, qui reste constante par la suite. Combien de temps faut-il attendre pour dégeler toute la glace et la transformer en eau à 0°C ?
- b) Il impose instantanément un flux d'air à température constante 30°C, parallèle à la surface interne du pare-brise. Quelle est la température de la surface interne du pare-brise ? Combien de temps faut-il attendre pour dégeler toute la glace et la transformer en eau à 0°C ?
- c) Il augmente instantanément la vitesse du flux d'air sans en changer la température. Justifiez de manière qualitative, si le temps est plus court ou plus long qu'à la question b).

Indications : Vous ferez les hypothèses suivantes : géométrie plane, effets de bord négligés, régime stationnaire : $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$. Conductivité thermique du verre $k = 0.73 \text{ W/m/K}$. Coefficient de transfert thermique *air – verre* $h = 65 \text{ W/m}^2/\text{K}$ (pour les conditions de la question b)). Masse volumique de la glace : $\rho_{\text{glace}} = 910 \text{ kg/m}^3$. Chaleur latente de fusion de la glace : $L_f = 333 \text{ kJ/kg}$.

Exercice 2 : Extrait de l'examen de juin 2012

Pour faire des tests bactériologiques, des échantillons doivent être incubés pendant 24 h à une température constante de 37°C. Dans des circonstances particulières, comme lors d'une guerre, qui empêchent un contrôle électrique continu de la température, on utilise une méthode basée sur une boîte bien isolée et des paquets d'une cire qui fonds à 37°C, que l'on peut disposer autour des échantillons. La cire est d'abord fondu à l'extérieur, puis insérée dans la boîte pour gager les échantillons au chaud pendant qu'elle se solidifie. La chaleur latente de fusion de la cire est de 205 kJ kg⁻¹. On utilise une boîte qui a la forme d'un cube de 1 m de côté avec des parois de 2 mm d'épaisseur, de conductibilité thermique de 0.2 W m⁻¹ K⁻¹ et d'émissivité e . Pour garantir une bonne isolation, les parois de la boîte sont recouvertes par une couche isolante de 10 mm d'épaisseur et de conductibilité thermique de 0.01 W m⁻¹ K⁻¹. L'extérieure est à 23°C la journée (pendant 14 h) et à 16°C la nuit (pendant 10 h). On néglige le transfer thermique par rayonnement.

- a) Dans quelles conditions peut-on calculer la masse de cire nécessaire pour compléter les test sans connaître la masse des échantillons ?
- b) Dans ces conditions, calculez la masse de cire nécessaire.

On aimeraient justifier l'approximation que nous avons faites de négliger le rayonnement.

- c) Trouvez une condition sur l'émissivité e pour que l'approximation soit bonne.

d) Que pouvons-nous faire en pratique pour respecter cette condition ?

Indication : Constante de Stefan-Boltzmann : $\sigma_B = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$.

Exercice 3 : Du Chasselas à St-Saphorin

Une feuille de vigne de surface $A = 100 \text{ cm}^2$ et masse $m = 2 \text{ g}$ est exposée au soleil. On suppose que $\eta = 25\%$ du rayonnement thermique du soleil est absorbé par l'atmosphère terrestre avant d'arriver sur Terre.

- Estimez le taux d'accroissement initial de la température de la feuille $\Delta T/\Delta t$ si l'on suppose qu'il n'y a pas de transfert de chaleur de la feuille vers l'air.
- Calculez la température d'équilibre de la feuille T_2 si toute la chaleur est perdue par rayonnement (la température ambiante est $T_1 = 20^\circ\text{C}$).
- Quelles sont les autres formes possibles de perte de chaleur ?

Application numérique : L'émissivité de la feuille vaut $e = 0.85$ et sa chaleur spécifique est $c = 0.8 \text{ kcal kg}^{-1}\text{K}^{-1}$. Pour calculer la puissance incidente, utilisez la constante solaire fixée en 1982 par l'Organisation Météorologique Mondiale à Genève : $I_0 = 1357 \text{ W m}^{-2}$ hors atmosphère. Constante de Stefan-Boltzmann $\sigma_B = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-4}$, $1 \text{ kcal} = 4186 \text{ J}$.

Exercice 4 : Une étreinte mortelle

Les abeilles japonaises *apis cerana japonica* se défendent contre un frelon géant *vespa mandarinia japonica* qui essaye d'envahir leur nid en formant une boule compacte autour de l'intrus et en augmentant leur température de $T_1 = 35^\circ\text{C}$ à $T_2 = 47^\circ\text{C}$. Cette température est mortelle pour le frelon⁽¹⁾. Supposez que pendant un temps $t = 20 \text{ min}$, 100 abeilles constituent une boule de rayon $R = 2 \text{ cm}$ dont la perte de chaleur la plus importante est due au rayonnement thermique et dont la surface a une émissivité = 0.8. La température de la boule est supposée uniforme. Pour que la température reste à 47°C pendant les 20 minutes, quelle chaleur supplémentaire par rapport à leur température normale de 35° doivent fournir les abeilles ?

Exercice 5 : Température à la surface de Mars

La sonde *Phoenix* s'est posée sur Mars afin d'y étudier la possibilité de présence de vie. En creusant le sol à l'aide d'un bras robotique, la mission de la sonde consiste notamment à déterminer si de l'eau était présente sur la planète rouge par le passé.

Le but de notre exercice est de calculer la température moyenne de la surface de Mars à partir de la puissance par unité de surface rayonnée par le Soleil qui arrive à la surface de la Terre (calculée au cours) :

$$\frac{dP}{dS_T} = \sigma_B T_S^4 \frac{R_S^2}{R_{ST}^2}$$

1. Voir l'article "Unusual thermal defence by a honeybee against mass attack by hornets", par Masato Ono et. al., paru dans Nature, volume 377, 1995, pages 334-336.

où R_S et T_S sont le rayon et la température du Soleil, S_T la surface de la Terre, R_{ST} la distance Soleil-Terre et σ_B est la constante de Stefan-Boltzmann. On considère la planète Mars comme étant un corps noir.

Indications : Distance Soleil-Mars $R_{SM} = 2.3 \times 10^{11}$ m, rayon du Soleil $R_S = 7 \times 10^8$ m, température à la surface du Soleil $T_S = 5800$ K.