Couverture de survie ou couverture en laine ?

Bac 2024 Centres étrangers 1 Jour 2 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q.1 Citer les trois modes de transferts thermiques. Préciser celui pour lequel il est majoritairement nécessaire de protéger les satellites.

Les trois modes de transfert thermique sont la **conduction**, la **convection** et le **rayonnement**.

Un satellite évolue dans le vide : sans matière autour de lui, il n'y a ni conduction ni convection avec l'extérieur. L'énergie qu'il reçoit du Soleil lui parvient uniquement par rayonnement.

Il faut protéger les satellites du transfert thermique par **rayonnement**.

COMPRENDRE
Conduction et convection exigent un milieu matériel (la convection, un fluide en mouvement). Le rayonnement, onde électromagnétique, est le seul mode qui se propage dans le vide.

Q.2 Établir, en s'appuyant sur une analyse dimensionnelle, la relation entre u, λ et e.

Données utiles u en $\mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}}$; λ en $\mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}}$; e en m

Les unités de u et de λ ne diffèrent que par la puissance du mètre : $\mathrm{m^{-2}}$ pour u, $\mathrm{m^{-1}}$ pour λ.

En divisant λ par une longueur, l'épaisseur e, on obtient :

$$\frac{\mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}}}{\mathrm{m}} = \mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}}$$

C'est bien l'unité de u : la relation est homogène.

$u = \dfrac{\lambda}{e}$, soit $\lambda = u \times e$

COMPRENDRE
La relation est cohérente physiquement : plus la paroi est épaisse, plus u est petit, donc moins l'énergie la traverse facilement.

MÉTHODE
Écrire l'unité de chaque grandeur, repérer ce qui les distingue, puis combiner les grandeurs pour que les deux membres aient la même unité.

Q.3 Calculer la valeur de la conductivité thermique de la couverture de survie et celle de la couverture en laine. Les comparer puis commenter.

Données utiles $u_1 = 408\ \mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}}$; $e_1 = 38\ \mu\mathrm{m}$; $u_2 = 38\ \mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}}$; $e_2 = 0{,}50\ \mathrm{mm}$; $\lambda = u \times e$ (Q.2)

Couverture de survie : $\lambda_1 = u_1 \times e_1 = 408 \times 38 \times 10^{-6} = 1{,}6 \times 10^{-2}\ \mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}}$

Couverture en laine : $\lambda_2 = u_2 \times e_2 = 38 \times 0{,}50 \times 10^{-3} = 1{,}9 \times 10^{-2}\ \mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}}$

Comparaison : $\dfrac{\lambda_2}{\lambda_1} = \dfrac{1{,}9 \times 10^{-2}}{1{,}6 \times 10^{-2}} \approx 1{,}2$. Les deux conductivités sont du même ordre de grandeur, celle de la laine étant un peu plus élevée.

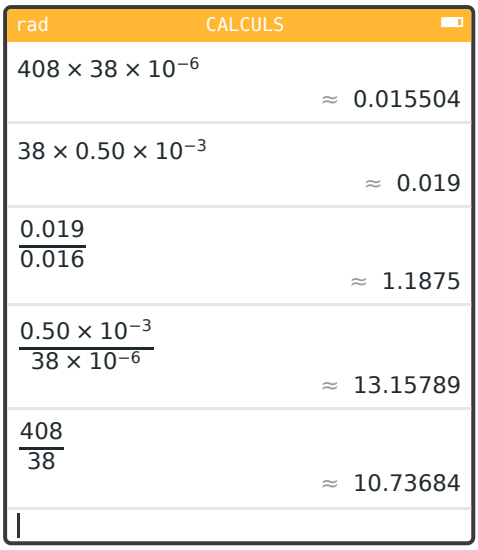
Commentaire : à épaisseur égale, les deux matériaux s'opposent presque autant à la conduction. Mais la couverture en laine est environ 13 fois plus épaisse, donc u_2 est environ 11 fois plus petit que u_1 : telle qu'elle est fabriquée, la couverture en laine limite mieux la conduction.

$\lambda_1 = 1{,}6 \times 10^{-2}\ \mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}}$ et $\lambda_2 = 1{,}9 \times 10^{-2}\ \mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}}$: valeurs voisines.

PIÈGE
Les épaisseurs se convertissent en mètres : $38\ \mu\mathrm{m} = 38 \times 10^{-6}\ \mathrm{m}$ et $0{,}50\ \mathrm{mm} = 0{,}50 \times 10^{-3}\ \mathrm{m}$. Une erreur de puissance de dix fausse toute la comparaison.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme e_1, e_2 et u_2, les données les moins précises. La conductivité caractérise le matériau ; le coefficient u caractérise la couverture, épaisseur comprise.

À LA CALCULATRICE



Q.4 Indiquer le domaine d'onde dans lequel la lampe à halogène émet le plus de rayonnement et justifier son utilisation pour l'étude du transfert thermique à travers les couvertures.

Sur la figure 1, la radiance est maximale vers 900 nm et reste élevée au-delà de 700 nm, limite de la région visible : la lampe à halogène émet surtout dans l'**infrarouge**.

Or le corps humain rayonne lui aussi essentiellement dans l'infrarouge. La lampe est donc une source adaptée pour jouer le rôle du corps humain dans l'expérience.

La lampe émet majoritairement dans l'infrarouge, comme le corps humain qu'elle modélise.

MÉTHODE
Pour exploiter un spectre : repérer l'abscisse du maximum, puis la situer par rapport aux limites du visible (400 nm et 700 nm environ).

Q.5 Montrer que la variation d'énergie interne d'un système incompressible peut s'exprimer $\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T$.

Premier principe de la thermodynamique appliqué au système au repos : $\Delta U = W + Q$.

Le système est incompressible : son volume ne varie pas, il n'échange donc pas d'énergie par travail, $W = 0$. Ainsi $\Delta U = Q$.

Le transfert thermique reçu par un système de masse m et de capacité thermique massique c, dont la température varie de ΔT sans changement d'état, vaut $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$.

$$\Delta U = Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

COMPRENDRE
L'expression est homogène : $\mathrm{kg} \times \mathrm{J \cdot K^{-1}} \cdot \mathrm{kg^{-1}} \times \mathrm{K} = \mathrm{J}$. Un écart de température a la même valeur en kelvins et en degrés Celsius.

Q.6 Exprimer le flux thermique ϕ à travers la plaque de liège en fonction de la variation de température et du temps.

Le flux thermique est l'énergie transférée par unité de temps : $\phi = \dfrac{Q}{\Delta t}$.

Pour la plaque de liège, de masse m et de capacité thermique massique $c_{\text{liège}}$, la question Q.5 donne $Q = \Delta U = m \cdot c_{\text{liège}} \cdot \Delta T$.

$$\phi = m \cdot c_{\text{liège}} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

COMPRENDRE
$\dfrac{\Delta T}{\Delta t}$ est le coefficient directeur de la partie rectiligne des figures 3 et 4 : une pente constante traduit un flux constant.

Q.7 Comparer l'efficacité des deux couvertures à retenir la chaleur corporelle.

Données utiles $m = 72{,}4\ \text{g}$; $c_{\text{liège}} = 2008\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$; figure 3 (survie) : $\frac{\Delta T}{\Delta t} = 4{,}43\times10^{-3}\ ^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$; figure 4 (laine) : $\frac{\Delta T}{\Delta t} = 12{,}5\times10^{-3}\ ^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$; expression de ϕ (Q.6)

Le flux qui traverse chaque couverture est égal à celui reçu par le liège : $\phi = m\cdot c_{\text{liège}}\cdot\dfrac{\Delta T}{\Delta t}$.

Couverture de survie : $\phi_1 = 72{,}4\times10^{-3}\times2008\times4{,}43\times10^{-3} = 0{,}644\ \text{W}$

Couverture en laine : $\phi_2 = 72{,}4\times10^{-3}\times2008\times12{,}5\times10^{-3} = 1{,}82\ \text{W}$

$\dfrac{\phi_2}{\phi_1} = \dfrac{1{,}82}{0{,}644} \approx 2{,}8$: pour la même lampe, la couverture de survie laisse passer un flux près de trois fois plus faible que la couverture en laine.

La lampe jouant le rôle du corps humain, la couverture de survie laisse s'échapper moins d'énergie vers l'extérieur.

$\phi_1 = 0{,}644\ \text{W} < \phi_2 = 1{,}82\ \text{W}$: la couverture de survie retient mieux la chaleur corporelle que la couverture en laine.

PIÈGE
La masse du liège se convertit en kilogrammes : $72{,}4\ \text{g} = 72{,}4\times10^{-3}\ \text{kg}$, car $c_{\text{liège}}$ est donnée par kilogramme.

COMPRENDRE
En conduction seule, la laine l'emportait ($u_2 < u_1$, Q.3). Ici le transfert se fait surtout par rayonnement infrarouge, que la face métallisée réfléchit : c'est ce qui rend la couverture de survie plus efficace.

MÉTHODE
Le rapport des flux est égal au rapport des pentes, $12{,}5 \div 4{,}43 \approx 2{,}8$: comparer les coefficients directeurs suffit pour conclure.

À LA CALCULATRICE

