Transferts d'énergie

Bac S 2013 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 1 **7,5 points** **Durée conseillée 1 h 10**

1.1 Dans quel sens s'effectue le transfert thermique dans la maison de Frédéric ?

Données utiles grenier : $\theta_1 = 5{,}0\ ^\circ\text{C}$; maison : $\theta_2 = 20\ ^\circ\text{C}$

Un transfert thermique a lieu spontanément du corps le plus chaud vers le corps le plus froid. Ici $\theta_2 > \theta_1$.

Le transfert thermique s'effectue de la maison ($20\ ^\circ\text{C}$) vers le grenier ($5{,}0\ ^\circ\text{C}$), à travers le sol du grenier.

COMPRENDRE
Ce sens est irréversible : jamais le grenier froid ne réchauffera spontanément la maison. Isoler ne change pas le sens du transfert, cela le ralentit.

1.2 Donner l'expression puis calculer le flux thermique Φ à travers le sol du grenier.

Données utiles $\theta_1 = 5{,}0\ ^\circ\text{C}$; $\theta_2 = 20\ ^\circ\text{C}$; $R = 7{,}5 \times 10^{-3}\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

Le flux thermique est proportionnel à l'écart de température entre les deux faces de la paroi :

$$\Phi = \frac{\theta_2 - \theta_1}{R}$$

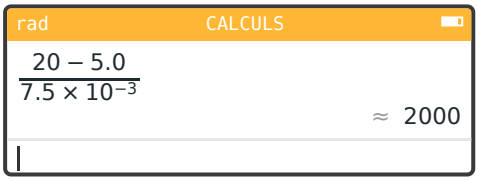
$$\Phi = \frac{20 - 5{,}0}{7{,}5 \times 10^{-3}} = 2{,}0 \times 10^3\ \text{W}$$

$\Phi = 2{,}0 \times 10^3\ \text{W}$, soit $2{,}0\ \text{kW}$

PIÈGE
Écrire $\theta_1 - \theta_2$ donne un flux négatif, ou multiplier par R au lieu de diviser. L'unité aide : des K divisés par des $\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ donnent des W.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme R et l'écart de $15\ ^\circ\text{C}$. Un écart de température a la même valeur en °C et en K : inutile de convertir.

À LA CALCULATRICE



1.3 Utiliser le tableau des conductivités thermiques pour conseiller Frédéric dans son choix de matériau. Justifier.

Données utiles λ en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$: laine de roche $0{,}035$; polystyrène extrudé $0{,}033$; liège naturel expansé $0{,}042$; cellulose $0{,}039$

D'après le texte, plus λ est grande, plus le matériau conduit facilement la chaleur. Un bon isolant doit au contraire la conduire le moins possible : il faut la conductivité thermique la plus petite du tableau.

Frédéric doit choisir le polystyrène extrudé, de plus faible conductivité : $\lambda = 0{,}033\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

PIÈGE
Confondre conductivité et résistance : le meilleur isolant a la plus petite λ, pas la plus grande. Le liège ($0{,}042$) est ici le moins performant des quatre.

1.4 La résistance thermique totale du sol du grenier doit atteindre $6{,}3 \times 10^{-2}\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. Calculer la résistance thermique de l'isolant choisi.

Données utiles $R_{\text{tot}} = 6{,}3 \times 10^{-2}\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$; $R_{\text{sol}} = 7{,}5 \times 10^{-3}\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

L'isolant est posé sur le sol : les deux parois sont accolées, leurs résistances thermiques s'ajoutent.

$R_{\text{tot}} = R_{\text{sol}} + R_{\text{iso}}$, donc $R_{\text{iso}} = R_{\text{tot}} - R_{\text{sol}}$

$$R_{\text{iso}} = 6{,}3 \times 10^{-2} - 7{,}5 \times 10^{-3} = 5{,}6 \times 10^{-2}\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

$R_{\text{iso}} = 5{,}6 \times 10^{-2}\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

PIÈGE
Les deux puissances de dix sont différentes : $7{,}5 \times 10^{-3} = 0{,}75 \times 10^{-2}$. Soustraire directement $6{,}3 - 7{,}5$ donnerait une résistance négative, ce qui n'a pas de sens.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$6.3 \times 10^{-2} - 7.5 \times 10^{-3}$

$\approx$ 0.0555

COMPRENDRE

Le sujet note encore R la résistance totale visée : ce n'est plus celle du sol seul. Donner des noms distincts évite de mélanger les deux valeurs.

1.5.1 Donner l'expression de la résistance thermique d'une paroi plane en fonction de λ, e et S. Vérifier l'homogénéité de cette expression.

R est proportionnelle à e (au numérateur) et inversement proportionnelle à λ et à S (au dénominateur) :

$$R = \frac{e}{\lambda S}$$

Homogénéité, à l'aide des unités : e en m, S en m^2, λ en $\mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}$.

$$\frac{e}{\lambda S} \text{ s'exprime en } \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}} \times \mathrm{m^2}} = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{W \cdot m \cdot K^{-1}}} = \mathrm{K \cdot W^{-1}}$$

C'est bien l'unité d'une résistance thermique.

$R = \frac{e}{\lambda S}$, expression homogène à des $\mathrm{K \cdot W^{-1}}$

COMPRENDRE

La formule est logique : une paroi épaisse isole mieux (R augmente avec e), une grande surface laisse passer plus d'énergie (R diminue quand S augmente).

MÉTHODE

Pour vérifier une homogénéité, remplacer chaque grandeur par son unité, simplifier, puis comparer à l'unité attendue. L'unité de λ se lit dans le tableau du sujet.

1.5.2 Quelle épaisseur minimale doit posséder le panneau du matériau choisi par Frédéric ?

Données utiles $R_{\text{iso}} = 5{,}6 \times 10^{-2}\ \mathrm{K \cdot W^{-1}}$ (1.4) ; $\lambda = 0{,}033\ \mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}$ (1.3) ; $S = 80\ \mathrm{m^2}$

Le panneau doit avoir une résistance au moins égale à R_{iso} : $\frac{e}{\lambda S} \geqslant R_{\text{iso}}$, soit $e \geqslant R_{\text{iso}}\, \lambda\, S$.

$$e_{\min} = R_{\text{iso}}\, \lambda\, S = 5{,}6 \times 10^{-2} \times 0{,}033 \times 80 = 0{,}15\ \mathrm{m}$$

$e_{\min} = 0{,}15$ m : le panneau de polystyrène extrudé doit avoir au moins 15 cm d'épaisseur.

PIÈGE

Utiliser la résistance totale $6{,}3 \times 10^{-2}\ \mathrm{K \cdot W^{-1}}$ au lieu de celle de l'isolant seul : le sol existant apporte déjà une partie de la résistance.

COMPRENDRE

Avec la valeur non arrondie de 1.4 ($5{,}55 \times 10^{-2}$), on trouve $0{,}147$ m : le résultat à deux chiffres significatifs reste $0{,}15$ m.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$5.6 \times 10^{-2} \times 0.033 \times 80$

$\approx$ 0.14784

2.1 Citer les trois modes de transfert thermique. Les présenter brièvement.

- **Conduction** : l'agitation thermique se transmet de proche en proche dans la matière, sans déplacement d'ensemble de celle-ci. Elle a surtout lieu dans les solides.
- **Convection** : l'énergie est transportée par un mouvement d'ensemble de la matière. Elle a lieu dans les fluides (liquides et gaz).
- **Rayonnement** : l'énergie est transportée par des ondes électromagnétiques. Aucun milieu matériel n'est nécessaire : ce transfert est possible dans le vide.

Conduction (de proche en proche, sans transport de matière), convection (avec transport de matière, dans un fluide), rayonnement (ondes électromagnétiques, possible dans le vide).

PIÈGE

Citer les trois noms ne suffit pas : « présenter » demande, pour chacun, s'il faut un milieu matériel et s'il y a ou non déplacement de matière.

2.2 Quel mode de transfert thermique intervient au niveau du capteur solaire (1), de l'échangeur thermique (3) et à l'intérieur du ballon de stockage (5) ? Justifier.

- **Capteur solaire (1)** : rayonnement. L'énergie arrive du Soleil sous forme d'ondes électromagnétiques, après avoir traversé le vide spatial.
- **Échangeur thermique (3)** : conduction. Le liquide caloporteur chaud et l'eau sanitaire ne se mélangent pas : l'énergie traverse la paroi solide du serpentin, de proche en proche.
- **Ballon de stockage (5)** : convection. L'eau chauffée au contact du serpentin se met en mouvement dans le ballon et transporte l'énergie avec elle.

(1) rayonnement ; (3) conduction ; (5) convection.

COMPRENDRE
L'eau chauffée est moins dense que l'eau froide : elle monte. C'est pourquoi l'échangeur est en bas du ballon et le départ d'eau chaude sanitaire en haut, comme sur le schéma.

2.3 Le fluide caloporteur s'échauffe lorsqu'il passe dans le capteur solaire. Comment varie son énergie interne ? Pourquoi ?

Dans le capteur, le fluide reçoit de l'énergie par transfert thermique et sa température augmente.

À l'échelle microscopique, une température plus élevée correspond à une agitation thermique plus forte des molécules : leur énergie cinétique microscopique augmente, donc l'énergie interne U du fluide aussi.

L'énergie interne du fluide caloporteur augmente ($\Delta U > 0$), car sa température augmente.

COMPRENDRE
Pour un liquide de masse m et de capacité thermique massique c, $\Delta U = m\,c\,\Delta\theta$: le signe de ΔU est celui de la variation de température.

3.1 À quel type d'ondes les micro-ondes appartiennent-elles ?

Les micro-ondes sont des ondes électromagnétiques, comme la lumière visible, les infrarouges ou les ondes radio.

COMPRENDRE
Un indice figure dans les données : le sujet fournit la célérité de la lumière dans le vide, qui est celle de toutes les ondes électromagnétiques.

3.2 Déterminer la longueur d'onde des micro-ondes du four.

Données utiles $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $2{,}45 \times 10^9$ oscillations par seconde

Les molécules oscillent $2{,}45 \times 10^9$ fois par seconde : la fréquence de l'onde est $f = 2{,}45 \times 10^9$ Hz.

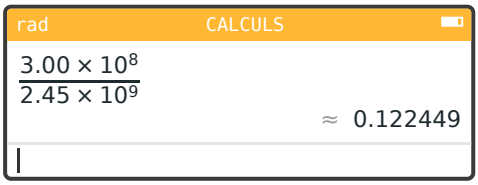
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3{,}00 \times 10^8}{2{,}45 \times 10^9} = 0{,}122\ \text{m}$$

$\lambda = 0{,}122$ m, soit 12,2 cm

PIÈGE
Ne pas confondre cette longueur d'onde λ avec la conductivité thermique de la partie 1, notée par la même lettre. Trois chiffres significatifs ici, comme c et f.

COMPRENDRE
On prend la célérité dans le vide, car celle des ondes électromagnétiques dans l'air en est très proche.

À LA CALCULATRICE



3.3 Calculer la variation d'énergie interne de l'eau contenue dans la tasse lorsque sa température passe de 10 °C à 90 °C.

Données utiles $V = 250\ \text{mL}$; $\rho_{\text{eau}} = 1{,}00\ \text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$; $c_{\text{eau}} = 4180\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $\theta_i = 10\ ^\circ\text{C}$; $\theta_f = 90\ ^\circ\text{C}$

Masse d'eau : $m = \rho_{\text{eau}}\, V$ avec $V = 250\ \text{mL} = 0{,}250\ \text{L}$, soit $m = 0{,}250\ \text{kg}$.

$$\Delta U = m\, c_{\text{eau}}\, (\theta_f - \theta_i) = \rho_{\text{eau}}\, V\, c_{\text{eau}}\, (\theta_f - \theta_i)$$

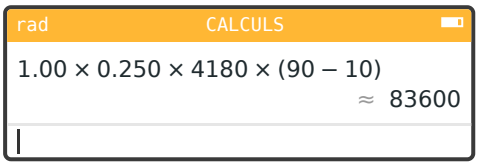
$$\Delta U = 1{,}00 \times 0{,}250 \times 4180 \times (90 - 10) = 8{,}4 \times 10^4\ \text{J}$$

$\Delta U = 8{,}4 \times 10^4\ \text{J}$, soit $84\ \text{kJ}$

PIÈGE
Laisser le volume en mL : la masse volumique est en $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$, il faut $V = 0{,}250\ \text{L}$. Sans cette conversion, le résultat est mille fois trop grand.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, imposés par les températures (10 et $90\ ^\circ\text{C}$). L'écart de $80\ ^\circ\text{C}$ vaut aussi $80\ \text{K}$, ce qui convient à l'unité de c_{eau}.

À LA CALCULATRICE



3.4 Le four, supposé bien isolé, est réglé sur la puissance de 900 W. Au bout de combien de temps l'eau du thé sera-t-elle prête ?

Données utiles $P = 900\ \text{W}$; $\Delta U = 8{,}4 \times 10^4\ \text{J}$ (3.3) ; $E = P\, \Delta t$

Le four étant bien isolé, on admet que toute l'énergie qu'il fournit est reçue par l'eau : $E = \Delta U$.

Or $E = P\, \Delta t$, donc $\Delta t = \dfrac{\Delta U}{P}$.

$$\Delta t = \frac{8{,}4 \times 10^4}{900} = 93\ \text{s}$$

$\Delta t = 93\ \text{s}$, soit environ 1 min 33 s

COMPRENDRE
Avec la valeur non arrondie $83\,600\ \text{J}$, on obtient $92{,}9\ \text{s}$: même résultat. En réalité la tasse et l'air du four chauffent aussi, la durée réelle est donc un peu plus longue.

MÉTHODE
Bilan d'énergie : 1) identifier le système (l'eau) ; 2) écrire que l'énergie reçue vaut ΔU ; 3) relier l'énergie à la puissance par $E = P\, \Delta t$.

À LA CALCULATRICE

