Étude d'une bouteille isotherme

Bac 2024 Métropole Septembre Jour 1 · Exercice 3 **6 points** **Durée conseillée 1 h 03**

Q1 Identifier le mode de transfert thermique entre le vase interne et l'extérieur que l'usage des ressorts centraux et du support en caoutchouc vise à minimiser.

Les ressorts et le support sont les seuls solides qui relient le vase interne à la bouteille extérieure. Leur section de contact est très réduite et le caoutchouc est un isolant thermique : l'énergie passe mal, de proche en proche, à travers eux.

Le mode de transfert minimisé est la **conduction** thermique.

COMPRENDRE
La conduction se fait sans déplacement de matière, à travers un milieu matériel, surtout solide. Moins il y a de contact entre deux solides, plus elle est faible.

Q2 Expliquer l'intérêt de rendre réfléchissantes les surfaces intérieure et extérieure du vase interne.

Tout corps émet un rayonnement électromagnétique (infrarouge aux températures usuelles) qui transporte de l'énergie, même dans le vide. Une surface réfléchissante renvoie ce rayonnement au lieu de l'absorber, et en émet peu elle-même.

Les surfaces réfléchissantes limitent le transfert thermique par **rayonnement**, dans les deux sens (liquide chaud ou liquide froid).

Q3 L'espace entre les surfaces intérieure et extérieure du vase interne contient un gaz à très basse pression. Expliquer l'intérêt de ce choix.

À très basse pression, le gaz contient très peu de molécules par unité de volume. Il y a donc trop peu de matière pour transporter l'énergie par des mouvements d'ensemble du gaz (convection) ou par chocs entre molécules (conduction).

Le gaz à très basse pression rend presque nuls les transferts par **convection** et par conduction entre les deux parois.

MÉTHODE
Trois modes de transfert à connaître : conduction (de proche en proche dans la matière), convection (déplacement d'un fluide), rayonnement (possible dans le vide). Les deux premiers exigent de la matière.

Q4 Indiquer en quoi les deux hypothèses permettent d'écrire que le premier principe appliqué au système {S} donne $\Delta U_S = 0$.

Pour le système {S}, fermé et macroscopiquement au repos, le premier principe s'écrit : $\Delta U_S = W + Q$.

Hypothèse 1 : pas de transfert thermique avec l'extérieur, donc $Q = 0$.

Hypothèse 2 : pas de travail échangé, donc $W = 0$.

$$\Delta U_S = W + Q = 0$$

COMPRENDRE
Les échanges thermiques entre l'eau chaude, l'eau froide et le vase sont internes au système {S} : ils n'apparaissent pas dans Q, qui ne compte que les échanges avec l'extérieur.

Q5 En déduire l'expression littérale de la capacité thermique C_{Vase} donnée par le sujet.

$\Delta U_S = \Delta U_{\text{Vase}} + \Delta U_{\text{Eau froide}} + \Delta U_{\text{Eau chaude}} = 0$, soit :

$$C_{\text{Vase}}\,(\theta_{\text{éq}} - \theta_{EF}) + m_{EF}\,c_E\,(\theta_{\text{éq}} - \theta_{EF}) + m_{EC}\,c_E\,(\theta_{\text{éq}} - \theta_{EC}) = 0$$

On isole le terme en C_{Vase} :

$$C_{\text{Vase}}\,(\theta_{\text{éq}} - \theta_{EF}) = m_{EC}\,c_E\,(\theta_{EC} - \theta_{\text{éq}}) - m_{EF}\,c_E\,(\theta_{\text{éq}} - \theta_{EF})$$

On divise par $(\theta_{\text{éq}} - \theta_{EF})$:

$$\boxed{C_{\text{Vase}} = \frac{m_{EC}\,c_E\,(\theta_{EC} - \theta_{\text{éq}})}{\theta_{\text{éq}} - \theta_{EF}} - m_{EF}\,c_E}$$

PIÈGE
Le signe : en passant le terme de l'eau chaude dans l'autre membre, $-(\theta_{\text{éq}} - \theta_{EC})$ devient $(\theta_{EC} - \theta_{\text{éq}})$. Écrire cette étape évite de « forcer » le résultat.

Q6 Calculer la valeur de la capacité thermique C_{Vase}.

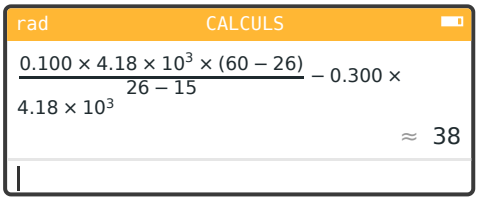
Données utiles $m_{EC} = 0{,}100$ kg ; $m_{EF} = 0{,}300$ kg ; $c_E = 4{,}18 \times 10^3$ J · kg^{-1} · K^{-1} ; $\theta_{EC} = 60$ °C ; $\theta_{\text{éq}} = 26$ °C ; $\theta_{EF} = 15$ °C

$$C_{\text{Vase}} = \frac{0{,}100 \times 4{,}18 \times 10^3 \times (60 - 26)}{26 - 15} - 0{,}300 \times 4{,}18 \times 10^3$$

$$\boxed{C_{\text{Vase}} = 38\ \text{J} \cdot \text{K}^{-1}}$$

PIÈGE
Les masses se convertissent en kilogrammes, puisque c_E est en J · kg^{-1} · K^{-1}. Les températures peuvent rester en °C : seules des différences interviennent, et un écart de 1 °C vaut 1 K.

À LA CALCULATRICE



COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme les températures. Le résultat est la différence de deux termes proches (1292 et 1254 J · K^{-1}) : il est très sensible à la moindre erreur sur $\theta_{\text{éq}}$.

Q7 Le vase interne a une masse $m_1 = 100$ g. Déterminer sa capacité thermique massique et commenter le résultat au regard des données.

Données utiles $C_{\text{Vase}} = 38$ J · K^{-1} (Q6) ; $m_1 = 0{,}100$ kg ; argent 235, acier inoxydable 450, titane 520, aluminium 900 (en J · kg^{-1} · K^{-1})

La capacité thermique du vase est proportionnelle à sa masse : $C_{\text{Vase}} = m_1\,c_{\text{Vase}}$, donc

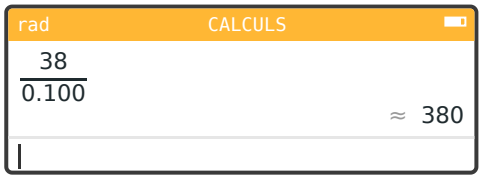
$$c_{\text{Vase}} = \frac{C_{\text{Vase}}}{m_1} = \frac{38}{0{,}100} = 3{,}8 \times 10^2\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Cette valeur ne correspond exactement à aucun métal du tableau. La plus proche est celle de l'acier inoxydable (450), métal usuel pour ce type de bouteille. L'écart peut venir de la précision des températures et des transferts thermiques avec l'extérieur, négligés dans le modèle.

$\boxed{c_{\text{Vase}} = 3{,}8 \times 10^2\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$: le vase est vraisemblablement en acier inoxydable.

COMPRENDRE
Avec $\theta_{\text{éq}} = 25{,}9$ °C au lieu de 26 °C, on trouverait $c_{\text{Vase}} \approx 540$ J · kg^{-1} · K^{-1}. Un thermomètre au degré près ne permet donc pas de trancher mieux.

À LA CALCULATRICE



Q8 Le système {S} étant à 26 °C et l'air extérieur à 19 °C, montrer que le flux thermique Φ_{ext} du système vers l'extérieur vaut environ 0,3 W.

Données utiles $R = 23\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$; $\theta_{éq} = 26\ ^\circ\text{C}$; $\theta_{ext} = 19\ ^\circ\text{C}$

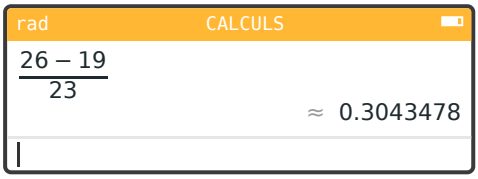
Le flux thermique va du corps chaud (le système) vers le corps froid (l'air extérieur). Il est lié à l'écart de température par la résistance thermique :

$$\Phi_{ext} = \frac{\theta_{éq} - \theta_{ext}}{R} = \frac{26 - 19}{23} = 0{,}30\ \text{W}$$

$\Phi_{ext} = 0{,}30$ W, soit bien environ 0,3 W.

COMPRENDRE
La formule ressemble à la loi d'Ohm : l'écart de température joue le rôle de la tension, le flux celui de l'intensité. Plus R est grande, meilleur est l'isolement.

À LA CALCULATRICE



Q9 En déduire l'ordre de grandeur de l'énergie Q_{ext} échangée par le système {S} avec le milieu extérieur pendant la durée Δt de l'expérience.

Données utiles $\Phi_{ext} = 0{,}30$ W (Q8) ; $\Delta t = 180$ s

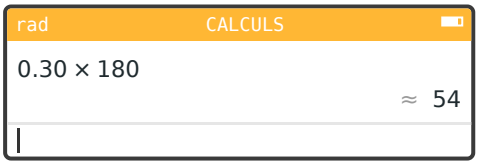
Le flux thermique est l'énergie transférée par unité de temps : $\Phi_{ext} = \frac{Q_{ext}}{\Delta t}$, donc

$$Q_{ext} = \Phi_{ext} \times \Delta t = 0{,}30 \times 180 = 54\ \text{J}$$

$Q_{ext} \approx 5 \times 10^1$ J, soit un ordre de grandeur de 10^2 J (quelques dizaines de joules).

COMPRENDRE
Cette énergie est cédée par le système : dans un bilan pour {S}, elle serait comptée négativement ($Q_{ext} \approx -54$ J). Ici, seule sa valeur absolue est demandée.

À LA CALCULATRICE



Q10 Comparer Q_{ext} à la variation d'énergie interne $\Delta U_{\text{Eau chaude}}$ de l'eau chaude au cours de l'expérience. Indiquer si l'hypothèse 1 est justifiée.

Données utiles $Q_{\text{ext}} = 54$ J (Q9) ; $m_{EC} = 0{,}100$ kg ; $c_E = 4{,}18 \times 10^3$ J · kg^{-1} · K^{-1} ; $\theta_{\text{éq}} = 26$ °C ; $\theta_{EC} = 60$ °C

$$\Delta U_{\text{Eau chaude}} = m_{EC}\, c_E\, (\theta_{\text{éq}} - \theta_{EC})$$

$$\Delta U_{\text{Eau chaude}} = 0{,}100 \times 4{,}18 \times 10^3 \times (26 - 60) = -1{,}4 \times 10^4 \text{ J}$$

L'eau chaude cède environ 14 kJ à l'eau froide et au vase, alors que le système ne cède que 54 J à l'extérieur :

$$\frac{|\Delta U_{\text{Eau chaude}}|}{Q_{\text{ext}}} = \frac{1{,}4 \times 10^4}{54} \approx 2{,}6 \times 10^2$$

Q_{ext} est environ 260 fois plus petite que $|\Delta U_{\text{Eau chaude}}|$: les pertes vers l'extérieur sont négligeables, l'hypothèse 1 est justifiée.

MÉTHODE

« Comparer » deux grandeurs : calculer leur rapport, dans la même unité. Un rapport supérieur à 100 autorise à négliger la plus petite.

À LA CALCULATRICE

