Chauffe-eau thermodynamique d'un chalet

Bac 2025 Amérique du Sud Jour 2 · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h 03**

Q1 Calculer la variation d'énergie interne ΔU de l'eau du ballon lorsque sa température passe de θ_1 à θ_2.

Données utiles $V = 200\ \text{L}$; $\rho_{\text{eau}} = 1{,}00\ \text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$; $c_{\text{eau}} = 4{,}18\ \text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$; $\theta_1 = 15\ ^\circ\text{C}$; $\theta_2 = 55\ ^\circ\text{C}$

Système {eau du ballon}, liquide incompressible, de masse $m = \rho_{\text{eau}} V = 1{,}00 \times 200 = 200$ kg.

$$\Delta U = m\, c_{\text{eau}}\, (\theta_2 - \theta_1)$$

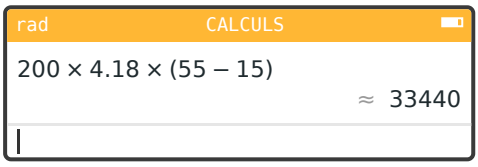
$$\Delta U = 200 \times 4{,}18 \times (55 - 15) = 3{,}3 \times 10^4\ \text{kJ}$$

$\Delta U = 3{,}3 \times 10^4\ \text{kJ} = 3{,}3 \times 10^7\ \text{J}$

PIÈGE
c_{eau} est donnée en kJ : le résultat sort en kJ, pas en J. Ne pas convertir les températures en kelvins une seule des deux.

COMPRENDRE
Un écart de température a la même valeur en °C et en K : $\theta_2 - \theta_1 = 40\ ^\circ\text{C} = 40$ K. Deux chiffres significatifs, comme les températures ; on garde $33\,440$ kJ pour les calculs suivants.

À LA CALCULATRICE



Q2 Indiquer le principal mode de transfert thermique à l'origine du flux à travers la paroi du ballon, ainsi que son sens.

La paroi du ballon est un solide : le transfert thermique s'y fait principalement par **conduction**.

Un transfert thermique a lieu spontanément du corps chaud vers le corps froid : ici de l'eau ($55\ ^\circ\text{C}$) vers l'air du garage ($18\ ^\circ\text{C}$).

Conduction thermique, de l'eau chaude vers l'air du garage.

COMPRENDRE
Trois modes de transfert thermique : conduction (dans un solide, sans déplacement de matière), convection (fluide en mouvement), rayonnement (ondes électromagnétiques, possible dans le vide).

Q3 Calculer le flux thermique Φ à travers la paroi du ballon, entre l'eau à θ_2 et l'air du garage.

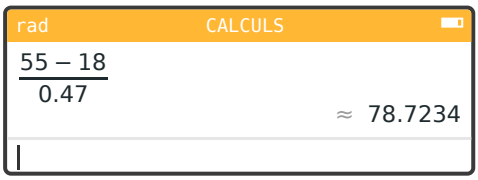
Données utiles $\theta_2 = 55\ ^\circ\text{C}$; $\theta_{\text{air}} = 18\ ^\circ\text{C}$; $R_{\text{th}} = 0{,}47\ ^\circ\text{C} \cdot \text{W}^{-1}$

$$\Phi = \frac{\theta_2 - \theta_{\text{air}}}{R_{\text{th}}} = \frac{55 - 18}{0{,}47} = 79\ \text{W}$$

$\Phi = 79\ \text{W}$

PIÈGE
Prendre $\theta_1 = 15\ ^\circ\text{C}$ ou l'écart $\theta_2 - \theta_1$: le flux étudié traverse la paroi entre l'eau chaude et l'air du garage, à $18\ ^\circ\text{C}$.

À LA CALCULATRICE



Q4 Montrer que l'énergie thermique Q_1 échangée entre l'eau du ballon et l'air du garage en une journée vaut $6{,}8 \times 10^3$ kJ.

Données utiles $\Phi = 78{,}7$ W (Q3) ; $\Delta t = 24$ h

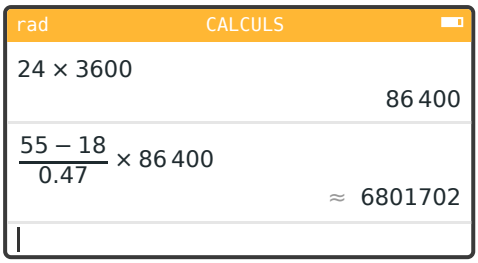
Le flux thermique est une puissance : $\Phi = \dfrac{Q_1}{\Delta t}$, donc $Q_1 = \Phi\, \Delta t$, avec $\Delta t = 24 \times 3\,600 = 86\,400$ s.

$$Q_1 = 78{,}7 \times 86\,400 = 6{,}8 \times 10^6\ \text{J}$$

$Q_1 = 6{,}8 \times 10^3\ \text{kJ}$, valeur attendue.

PIÈGE
Laisser la durée en heures : des watts multipliés par des heures donnent des W·h, pas des joules.

À LA CALCULATRICE



COMPRENDRE
Ce calcul suppose que l'eau reste à $55\ °C$ toute la journée : le flux est alors constant. Q_1 est ici la valeur positive de l'énergie perdue par l'eau.

Q5 En appliquant le premier principe à l'eau du ballon, exprimer l'énergie thermique Q_2 nécessaire pour chauffer chaque jour l'eau de θ_1 à θ_2 en fonction de ΔU et Q_1.

Système {eau du ballon}, au repos, incompressible : aucun travail n'est échangé ($W = 0$).

Premier principe : $\Delta U = W + Q = Q$, où Q est la somme des transferts thermiques reçus par l'eau.

L'eau reçoit Q_2 du fluide caloporteur et cède Q_1 à l'air du garage (Q_1 et Q_2 étant des valeurs positives) : $\Delta U = Q_2 - Q_1$.

$$Q_2 = \Delta U + Q_1$$

PIÈGE
Écrire $Q_2 = \Delta U - Q_1$. Une énergie cédée par le système se compte négativement dans le bilan : c'est $-Q_1$ qui figure dans ΔU.

COMPRENDRE
Il faut fournir à l'eau l'énergie qui élève sa température, plus celle qui s'échappe par la paroi : Q_2 est supérieure à ΔU.

Q6 Montrer que la valeur de l'énergie thermique Q_2 est voisine de 11 kW·h.

Données utiles $\Delta U = 33\,440$ kJ (Q1) ; $Q_1 = 6{,}8 \times 10^3$ kJ (Q4) ; $1\ \text{W} \cdot \text{h} = 3\,600$ J

$$Q_2 = \Delta U + Q_1 = 33\,440 + 6{,}8 \times 10^3 = 4{,}0 \times 10^4\ \text{kJ}$$

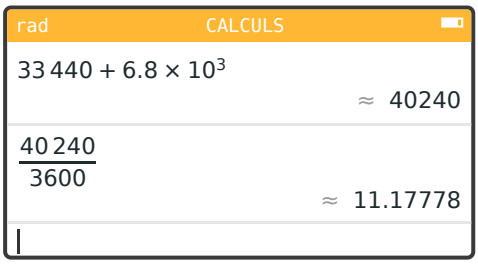
Or $1\ \text{kW} \cdot \text{h} = 3\,600$ kJ :

$$Q_2 = \frac{40\,240}{3\,600} = 11{,}2\ \text{kW} \cdot \text{h}$$

$Q_2 = 11{,}2\ \text{kW} \cdot \text{h} \approx 11\ \text{kW} \cdot \text{h}$, valeur attendue.

MÉTHODE
$1\ \text{W} \cdot \text{h} = 3\,600$ J, donc $1\ \text{kW} \cdot \text{h} = 3\,600$ kJ $= 3{,}6 \times 10^6$ J. Pour passer des kJ aux kW·h, on divise par $3\,600$.

À LA CALCULATRICE



Q7 Calculer l'énergie électrique E_{PAC} consommée par la pompe à chaleur pour chauffer quotidiennement l'eau du ballon.

Données utiles $Q_2 = 11{,}2\ \text{kW} \cdot \text{h}$ (Q6) ; $\text{COP} = 3{,}2$

L'énergie utile est le transfert thermique cédé à l'eau, Q_2 (transfert sans perte) :

$$\text{COP} = \frac{Q_2}{E_{PAC}} \quad \text{donc} \quad E_{PAC} = \frac{Q_2}{\text{COP}}$$

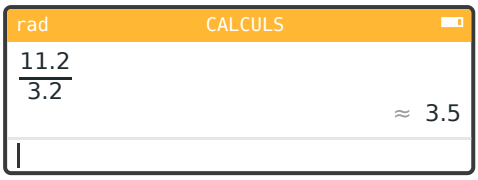
$$E_{PAC} = \frac{11{,}2}{3{,}2} = 3{,}5\ \text{kW} \cdot \text{h}$$

$E_{PAC} = 3{,}5\ \text{kW} \cdot \text{h}$

PIÈGE
Multiplier par le COP : on obtiendrait 36 kW·h, plus que l'énergie fournie à l'eau. L'énergie électrique consommée est toujours inférieure à l'énergie utile.

COMPRENDRE
Un COP de 3,2 signifie que la pompe fournit à l'eau 3,2 fois plus d'énergie qu'elle n'en consomme : la différence est prélevée dans l'air ambiant. Avec la valeur arrondie $Q_2 = 11\ \text{kW} \cdot \text{h}$, on trouve $3{,}4\ \text{kW} \cdot \text{h}$.

À LA CALCULATRICE



Q8 Calculer, en kW·h, l'énergie électrique produite par les panneaux pour une journée d'ensoleillement moyen et vérifier que l'installation couvre la consommation quotidienne totale du chalet.

Données utiles $N = 10$ panneaux ; $P_{\text{elec}} = 300$ W ; $\Delta t = 5$ h ; consommation hors PAC : $8\ \text{kW}\cdot\text{h}$; $E_{PAC} = 3{,}5\ \text{kW}\cdot\text{h}$ (Q7)

Énergie produite en une journée :

$$E_{\text{prod}} = N\,P_{\text{elec}}\,\Delta t = 10 \times 0{,}300 \times 5 = 15\ \text{kW}\cdot\text{h}$$

Consommation quotidienne totale :

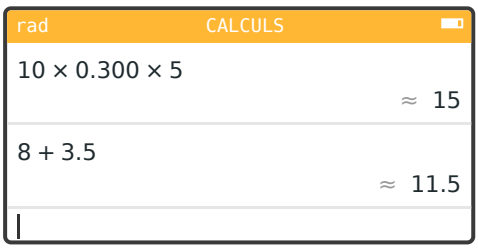
$$E_{\text{conso}} = 8 + E_{PAC} = 8 + 3{,}5 = 11{,}5\ \text{kW}\cdot\text{h}$$

$E_{\text{prod}} = 15\ \text{kW}\cdot\text{h} > E_{\text{conso}} \approx 12\ \text{kW}\cdot\text{h}$: l'installation est suffisante.

PIÈGE
Oublier le nombre de panneaux, ou comparer la production à la seule consommation de la pompe à chaleur en oubliant les $8\ \text{kW}\cdot\text{h}$ du reste du chalet.

MÉTHODE
Pour obtenir directement des kW·h, on exprime la puissance en kW et la durée en heures : $E = P\,\Delta t$, sans passer par les joules.

À LA CALCULATRICE



Q9 Indiquer le type d'atténuation sonore mis en œuvre par l'isolation phonique du garage.

Le matériau isolant absorbe une partie de l'énergie de l'onde sonore qui le traverse.

Il s'agit d'une atténuation **par absorption**.

COMPRENDRE
Deux types d'atténuation : géométrique (l'intensité diminue quand on s'éloigne de la source, la puissance se répartissant sur une surface plus grande) et par absorption (par le milieu ou le matériau traversé).

Q10 Indiquer si les vacanciers situés à la distance d_2 du chauffe-eau seront gênés par son fonctionnement.

Données utiles $d_1 = 0{,}10$ m ; $L_1 = 70$ dB ; $d_2 = 5{,}00$ m ; atténuation de l'isolation : 25 dB ; niveau conseillé : 30 dB au plus ; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W · m^{-2}

Intensité sonore à la distance d_1. $L_1 = 10\log\left(\dfrac{I_1}{I_0}\right)$ donc $I_1 = I_0 \times 10^{L_1/10}$:

$$I_1 = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{7{,}0} = 1{,}0 \times 10^{-5}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Puissance sonore de la source. $I_1 = \dfrac{P}{4\pi\, d_1^2}$ donc

$$P = 4\pi\, d_1^2\, I_1 = 4\pi \times 0{,}10^2 \times 1{,}0 \times 10^{-5} = 1{,}3 \times 10^{-6}\ \text{W}$$

Intensité sonore à la distance d_2, sans isolation.

$$I_2 = \frac{P}{4\pi\, d_2^2} = \frac{1{,}26 \times 10^{-6}}{4\pi \times 5{,}00^2} = 4{,}0 \times 10^{-9}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Niveau sonore à la distance d_2, sans isolation.

$$L_2 = 10\log\left(\frac{I_2}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{4{,}0 \times 10^{-9}}{1{,}0 \times 10^{-12}}\right) = 36\ \text{dB}$$

Sans isolation, le niveau dépasserait les 30 dB conseillés.

Avec l'isolation phonique. $L_2' = L_2 - 25 = 36 - 25 = 11$ dB

$L_2' = 11\ \text{dB} < 30\ \text{dB}$: les vacanciers ne seront pas gênés.

PIÈGE

Les niveaux en dB ne sont pas proportionnels aux intensités : on ne divise pas 70 dB par 2 500. On passe par I, puis on revient à L. L'atténuation, elle, se soustrait en dB.

COMPRENDRE

La distance est multipliée par 50, l'intensité divisée par $50^2 = 2\,500$: c'est l'atténuation géométrique, de 34 dB. L'isolation ajoute 25 dB d'atténuation par absorption.

MÉTHODE

Vérification sans calculer P : $\dfrac{I_2}{I_1} = \left(\dfrac{d_1}{d_2}\right)^2$, donc $L_2 = L_1 - 20\log\left(\dfrac{d_2}{d_1}\right) = 70 - 34 = 36$ dB.

À LA CALCULATRICE

