Spécialité : De l'eau fraîche avec mon botijo

Bac S 2019 Liban (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Calculer la variation d'énergie interne d'un volume V d'eau dont la température diminue de 1 °C.

Données utiles $c_{eau} = 4{,}18\ \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $\rho_{eau} = 1{,}0\ \text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$; $V = 1{,}9\ \text{L}$

Masse d'eau : $m_{eau} = \rho_{eau} V$. L'eau reste liquide, donc :

$$\Delta U_{eau} = m_{eau}\, c_{eau}\, \Delta\theta = \rho_{eau}\, V\, c_{eau}\, \Delta\theta$$

avec $\Delta\theta = -1\ ^\circ\text{C} = -1\ \text{K}$ (la température diminue).

$\Delta U_{eau} = 1{,}0 \times 1{,}9 \times 4{,}18 \times (-1) = -7{,}9\ \text{kJ}$

$\Delta U_{eau} = -7{,}9\ \text{kJ}$: l'eau perd 7,9 kJ quand elle refroidit de 1 °C.

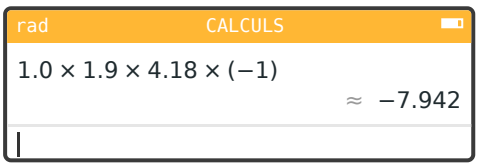
PIÈGE

Oublier le signe : la température baisse, donc $\Delta\theta < 0$ et $\Delta U < 0$. Garder c_{eau} en kJ donne directement un résultat en kJ.

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs, comme V et ρ_{eau}. La baisse de 1 °C est une valeur de définition : si on la lit avec un seul chiffre, on écrit -8 kJ. Un écart de température a la même valeur en °C et en K.

À LA CALCULATRICE



2 D'après les résultats de l'expérience, déterminer la masse d'eau du système {cruche + eau} qui se vaporise au cours du temps, en gramme par heure.

Données utiles graphe de la masse du système en fonction du temps (document 2)

La masse du système est modélisée par une droite décroissante : l'eau se vaporise à rythme constant. La masse vaporisée par heure est la valeur absolue du coefficient directeur.

Deux points éloignés de la droite : A $(0\ \text{h}; 3550\ \text{g})$ et B $(6{,}0\ \text{h}; 3300\ \text{g})$.

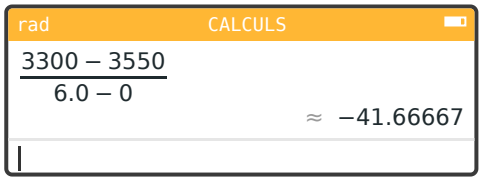
$$a = \frac{m_B - m_A}{t_B - t_A} = \frac{3300 - 3550}{6{,}0 - 0} = -42\ \text{g} \cdot \text{h}^{-1}$$

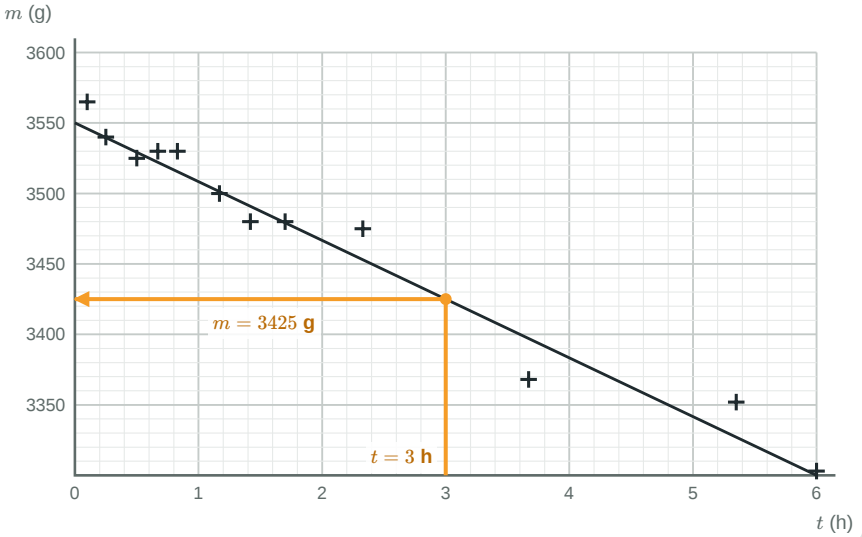
Il se vaporise environ 42 g d'eau par heure.

MÉTHODE

Pour un coefficient directeur, choisir deux points de la droite modèle, les plus éloignés possible, et non deux points expérimentaux : ceux-ci sont dispersés autour de la droite.

À LA CALCULATRICE





2 · Masse du système {cruche + eau} : droite modèle et points A et B utilisés

3 Justifier qualitativement l'existence des deux zones de la courbe d'évolution de la température lors de l'expérience.

Le système cède l'énergie Q_1 par vaporisation de l'eau et reçoit l'énergie Q_2 de l'air ambiant dès qu'il est plus froid que lui. La vaporisation se fait à rythme constant (question 2) : l'énergie cédée chaque heure est toujours la même.

Zone 1 : au départ, le système est à la température de l'air (21 °C), il n'en reçoit presque rien. Il cède plus d'énergie qu'il n'en reçoit ($Q_1 > Q_2$) : son énergie interne diminue, sa température baisse. Plus il refroidit, plus l'écart avec l'air grandit et plus l'énergie reçue chaque heure augmente : la baisse ralentit.

Zone 2 : l'écart de température est assez grand pour que l'énergie reçue de l'air compense exactement l'énergie cédée ($Q_2 = Q_1$). L'énergie interne ne varie plus.

Zone 1 : $Q_1 > Q_2$, la température diminue. Zone 2 : $Q_2 = Q_1$, la température reste constante (environ 15,4 °C).

PIÈGE
Dire que la vaporisation s'arrête en zone 2. La masse continue de diminuer au même rythme pendant les six heures : c'est l'énergie reçue de l'air qui a augmenté.

COMPRENDRE
Un transfert thermique va spontanément du corps chaud vers le corps froid, et il est d'autant plus intense que l'écart de température est grand.

4 Résolution de problème. Pour prévoir la température de la cruche au bout de la première heure, peut-on négliger l'énergie Q_2 reçue de l'extérieur sur cette durée ? Répondre quantitativement à l'aide d'un bilan énergétique.

Données utiles $L_V = 2{,}4 \times 10^3\ \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$; $C_{cruche} = 2{,}1\ \text{kJ} \cdot \text{K}^{-1}$; $42\ \text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ (question 2) ; $\rho_{eau}\, V\, c_{eau} = 7{,}9\ \text{kJ} \cdot \text{K}^{-1}$ (question 1) ; température initiale 21 °C

Bilan d'énergie du système S {cruche + eau} pendant la première heure (document 3) : $\Delta U = Q_2 - Q_1$.

Énergie cédée par vaporisation : en une heure, $m = 42\ \text{g} = 42 \times 10^{-3}$ kg d'eau se vaporise.

$Q_1 = m\, L_V = 42 \times 10^{-3} \times 2{,}4 \times 10^3 = 1{,}0 \times 10^2\ \text{kJ}$

Hypothèse : Q_2 négligée. Alors $\Delta U = -Q_1$. La cruche et l'eau se refroidissent ensemble :

$$\Delta U = (C_{cruche} + \rho_{eau}\, V\, c_{eau})\, \Delta\theta \quad \text{donc} \quad \Delta\theta = \frac{-Q_1}{C_{cruche} + \rho_{eau}\, V\, c_{eau}}$$

$\Delta\theta = \dfrac{-1{,}0 \times 10^2}{2{,}1 + 7{,}9} = -10\ ^\circ\text{C}$: le modèle prévoit $\theta = 21 - 10 = 11\ ^\circ\text{C}$ au bout d'une heure.

Comparaison à l'expérience : sur la courbe du document 2, à $t = 1$ h, $\theta \approx 16{,}5\ ^\circ\text{C}$, soit une baisse réelle de $4{,}5$ °C seulement, deux fois plus faible que prévu.

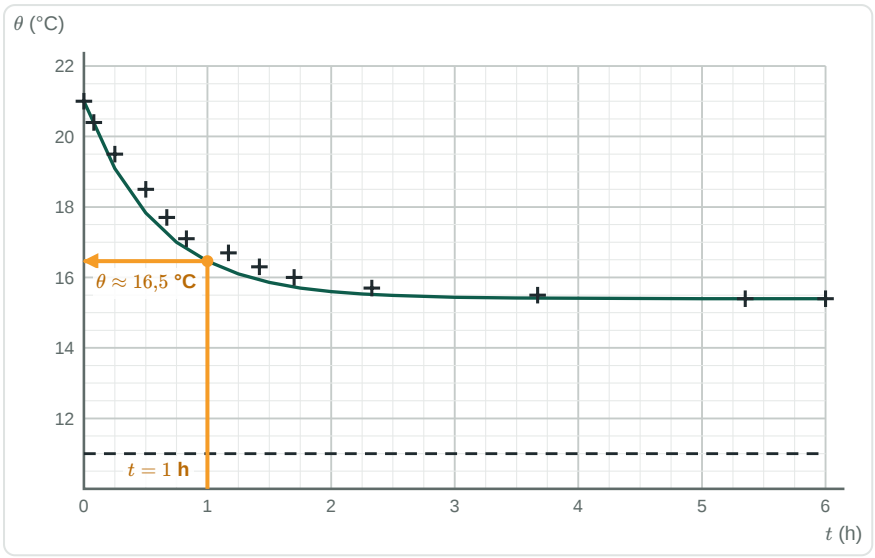
Estimation de Q_2 : $\Delta U_{réelle} = (2{,}1 + 7{,}9) \times (-4{,}5) = -45\ \text{kJ}$, d'où $Q_2 = \Delta U_{réelle} + Q_1 \approx -45 + 100 = 55\ \text{kJ}$. C'est plus de la moitié de Q_1.

Non : sans Q_2 on prévoit 11 °C au lieu de 16,5 °C mesurés. L'énergie reçue de l'air (≈ 55 kJ) n'est pas négligeable devant $Q_1 = 1{,}0 \times 10^2$ kJ.

PIÈGE
Oublier la cruche : elle se refroidit avec l'eau, sa capacité thermique s'ajoute. Elle est déjà en $\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1}$: on ne la multiplie pas par une masse. Convertir aussi 42 g en kg.

COMPRENDRE
Q_1 et Q_2 sont comptées positives sur le schéma : l'une sort, l'autre entre, d'où $\Delta U = Q_2 - Q_1$. Selon la lecture du graphe (entre 16,5 et 17 °C), Q_2 vaut 55 à 60 kJ : la conclusion ne change pas.

MÉTHODE
Pour tester une hypothèse : calculer ce que prévoit le modèle simplifié, lire la valeur mesurée, puis comparer par un écart chiffré. La conclusion se lit sur cet écart.



4 · Température de l'eau : lecture à $t = 1$ h, à comparer aux 11 °C prévus sans Q_2

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$42 \times 10^{-3} \times 2.4 \times 10^{3}$
≈ 100.8

$\dfrac{-100.8}{2.1 + 1.0 \times 1.9 \times 4.18}$
≈ -10.03784

$(2.1 + 1.0 \times 1.9 \times 4.18) \times (-4.5)$
≈ -45.189

$100.8 - 45.189$
≈ 55.611