

**EXERCICE C. RAFRAÎCHIR UNE BOISSON (5 pts, 53 minutes)**

Mots-clés : premier principe de la thermodynamique, loi de Newton de la thermique

1. En appliquant le premier principe de la thermodynamique au système {canette + boisson} entre l'état initial à la température  $\theta_i$  et l'état final à la température  $\theta_f$ , exprimer la variation  $\Delta U$  de l'énergie interne du système en fonction de  $C$ ,  $\theta_i$  et  $\theta_f$ .

$$\Delta U = W + Q, \text{ or } W = 0$$

$$\Delta U = Q = C.(\theta_f - \theta_i)$$

2. Calculer la valeur de cette variation d'énergie interne au cours du refroidissement du système {canette + boisson} depuis la température ambiante jusqu'à la température finale  $\theta_f = 5^\circ\text{C}$ .

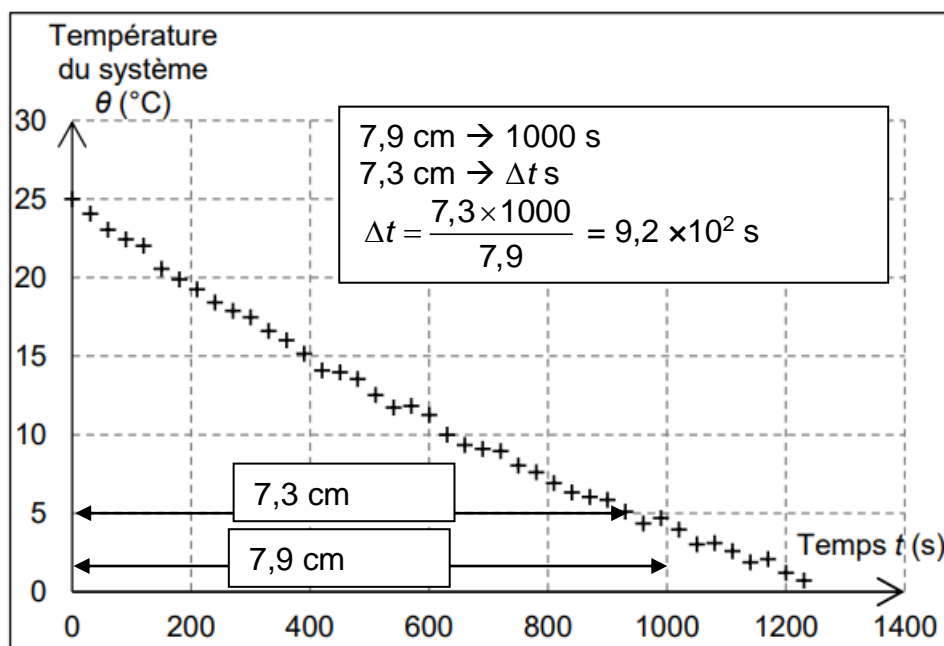
$$\Delta U = C.(\theta_f - \theta_i)$$

$$\Delta U = 1,50 \times 10^3 \times (5 - 25) = -3,0 \times 10^4 \text{ J} = -30 \text{ kJ}$$

3. Commenter le signe du résultat obtenu et interpréter celui-ci en termes d'énergie microscopique.

La variation d'énergie interne est négative car le système {canette + boisson} cède de l'énergie sous forme de chaleur au milieu extérieur. L'agitation des atomes et molécules constituant le système diminue au fur et à mesure du refroidissement. L'énergie cinétique microscopique du système diminue.

4. Déterminer graphiquement la durée  $\Delta t$  nécessaire au refroidissement du système jusqu'à la température  $\theta_f = 5^\circ\text{C}$ .



5. En formulant, dans un premier temps, l'hypothèse d'un flux thermique  $\phi$  constant au cours du refroidissement du système, calculer la valeur de  $\phi$ . On prendra  $\Delta U = -30 \text{ kJ}$  pour la valeur de la variation d'énergie interne.

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

$$\phi = \frac{-30 \times 10^3}{9,2 \times 10^2} = -33 \text{ W}$$

**6. Interpréter la courbe donnant l'évolution du flux thermique en fonction de l'écart de température (figure 2). Exploiter la courbe afin d'estimer la valeur du coefficient d'échange thermique surfacique  $h$  ; commenter.**

La courbe est une droite passant par l'origine, ce qui indique la proportionnalité entre  $\phi$  et  $(\theta_{th} - \theta)$ .

$$\phi = k.(\theta_{th} - \theta)$$

Cette relation est en accord avec  $\phi = h.S.(\theta_{th} - \theta)$  en posant  $k = h.S$ .

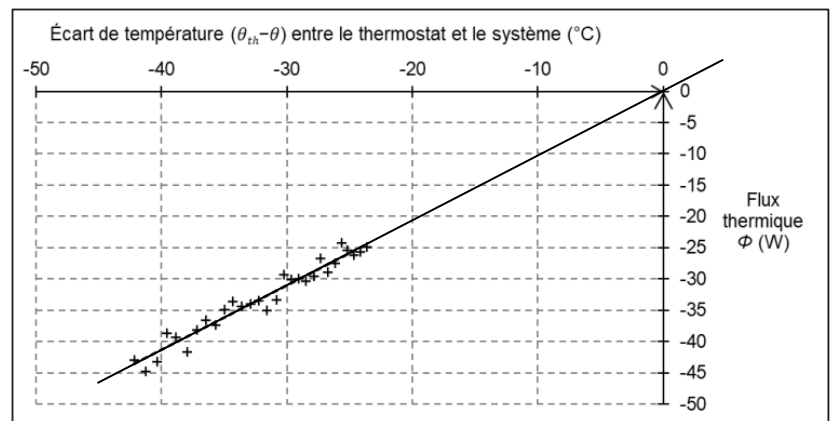


Figure 2 : Évolution du flux thermique en fonction de l'écart de température

$h = \frac{k}{S}$  où  $k$  est le coefficient directeur de la droite.

On calcule  $k$  avec le point de coordonnées  $(-40^\circ\text{C} ; -42 \text{ W})$   $k = \frac{-42 \text{ W}}{-40^\circ\text{C}}$ .

$$h = \frac{\frac{42}{40}}{3,1 \times 10^{-2} \text{ m}^2} = 34 \text{ W} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

Cette valeur est bien comprise dans l'intervalle 5 à 50  $\text{W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  annoncé dans les données de l'exercice.

**7. En utilisant la fonction  $\theta(t)$  précédente, commenter l'évolution temporelle du système. Définir et évaluer un temps caractéristique  $\tau$ .**

$$\theta(t) = (\theta_i - \theta_{th}).\exp\left(-\frac{h.S}{C}.t\right) + \theta_{th}$$

$$\text{Pour } t = 0 \text{ s, } \theta(t) = (\theta_i - \theta_{th}).\exp(0) + \theta_{th} = \theta_i$$

$$\text{Pour } t \rightarrow \infty, \theta(t) = (\theta_i - \theta_{th}).\exp(-\infty) + \theta_{th} = \theta_{th}$$

La température diminue selon une décroissance exponentielle de  $\theta_i$  à  $\theta_{th}$ .

Au bout d'une durée égale à  $5\tau$ , le régime stationnaire est atteint, la température demeure constante et égale à  $\theta_{th}$ .

La fonction modélisant l'évolution temporelle de la température du système est de la forme

$$\theta(t) = (\theta_i - \theta_{th}).\exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + \theta_{th} \text{ ainsi } -\frac{1}{\tau} = -\frac{h.S}{C} \text{ donc } \tau = \frac{C}{h.S}.$$

$$\tau = \frac{1,50 \times 10^3}{34 \times 3,1 \times 10^{-2}} = 1,4 \times 10^3 \text{ s}$$

**8. En s'appuyant sur les données expérimentales de la figure 1, par exemple en exploitant la tangente à l'origine, évaluer le temps caractéristique  $\tau$ . Commenter**

La tangente à l'origine croise l'asymptote horizontale d'équation  $\theta = \theta_{th} = -18^\circ\text{C}$  à la date  $t = \tau$ . La figure 1 ne permet pas de faire cette détermination graphiquement.

La tangente à l'origine a pour coefficient directeur  $k = \left( \frac{d\theta}{dt} \right)_{t=0s}$

$$k = \left( \frac{d \left( (\theta_i - \theta_{th}) \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + \theta_{th} \right)}{dt} \right)_{t=0s}$$

$$k = -\frac{(\theta_i - \theta_{th})}{\tau} \cdot \exp\left(-\frac{0}{\tau}\right)$$

$$k = -\frac{(\theta_i - \theta_{th})}{\tau}$$

À l'aide de la figure 1, on peut calculer ce coefficient directeur  $k$  et en déduire une valeur du temps caractéristique  $\tau = -\frac{(\theta_i - \theta_{th})}{k}$

On choisit deux points sur la tangente.

A(0 s ; 25°C)

B(700 s ; 5°C)

$$k = \frac{5 - 25}{700 - 0}$$

$$\tau = -\frac{25 - (-18)}{\frac{5 - 25}{700}} = 1,5 \times 10^3 \text{ s}$$

On obtient une valeur très proche de celle calculée au 1.7.

La légère différence peut s'expliquer par le manque de précision sur les lectures graphiques.

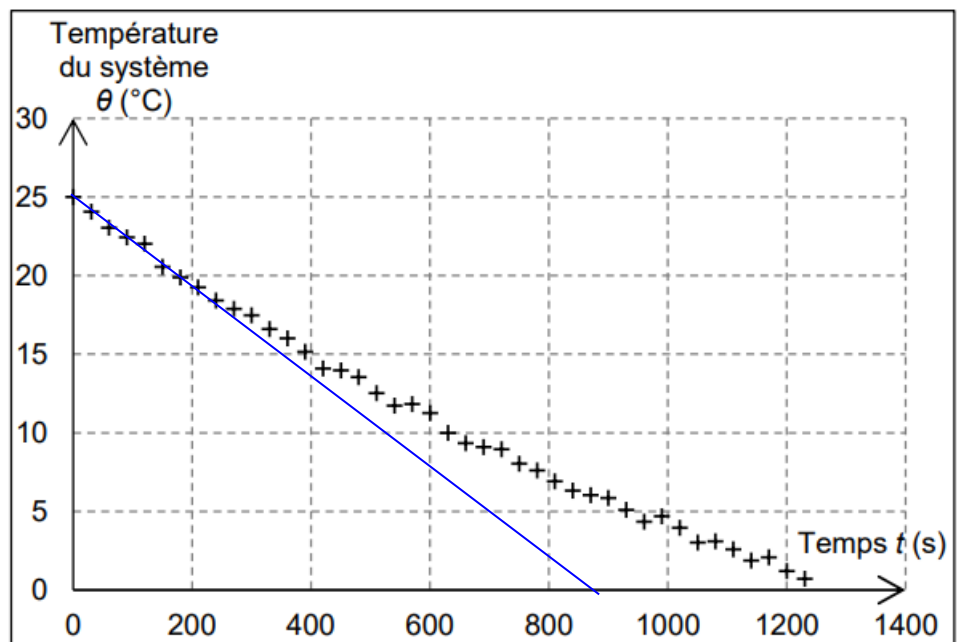


Figure 1. Évolution de la température du système en fonction du temps