

Partie 2 : Sciences physiques

EXERCICE A - Évolution de la température d'un vaccin (10 points)

Un vaccin se présente en suspension injectable prête à l'emploi conditionnée en flacon multidoses (le volume d'une dose est 0,5 mL).

Il peut se conserver 6 mois au réfrigérateur, à l'abri de la lumière.

Une fois sorti du réfrigérateur, sa durée de conservation prévue par l'AMM (Autorisation de Mise sur le Marché) est de 6 heures, à une température ne dépassant pas 30 °C.

Pour éviter la sensation désagréable liée « au froid » au moment de l'injection, il est conseillé d'attendre un certain temps après la sortie du réfrigérateur, pour que la température du vaccin atteigne une valeur voisine de 20 °C.



L'objectif de cet exercice est de prévoir le temps nécessaire pour que le vaccin atteigne une température de 20 °C après sa sortie du réfrigérateur.

La température intérieure du réfrigérateur est considérée égale à $T_i = 4$ °C et la température ambiante dans la pièce est $T_e = 22$ °C.

Le système étudié est le liquide contenu dans le flacon. Le flacon lui-même ne sera pas pris en compte dans l'analyse des transferts thermiques.

Données

- Tout transfert thermique, autre que conducto-convectif entre le système et le milieu extérieur, est négligé.
- Loi phénoménologique de Newton : le flux thermique $\Phi(t)$ entre un système à la température uniforme $T(t)$ et un milieu extérieur à la température T_e fixe (thermostat) peut être modélisé par la loi de Newton : $\Phi(t) = h \times S \times (T_e - T(t))$ avec dans le cas de cet exercice :
 - h le coefficient conducto-convectif : $h = 18 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$;
 - S surface d'échange entre le système et le milieu extérieur : $S = 12,8 \times 10^{-4} \text{ m}^2$.
- La capacité thermique massique du liquide du flacon : $c = 4,2 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- La masse du liquide présent dans le flacon : $m = 5,0 \text{ g}$.

1. Indiquer le sens du transfert d'énergie qui s'effectue entre le milieu extérieur et le système une fois sorti du réfrigérateur.
2. Préciser l'unité du flux thermique Φ et commenter son signe.
3. En appliquant le premier principe de la thermodynamique et en considérant que le système n'échange de l'énergie avec le milieu extérieur que par transfert thermique Q , donner l'expression de Q en fonction de la masse m du système, de sa capacité thermique massique c et de sa variation de température ΔT .
4. Exprimer le transfert thermique Q issu de la convection entre le milieu extérieur et le système supposé incompressible, en fonction de Φ et de la courte durée Δt du transfert thermique.

5. Dédurre des deux questions précédentes sur le transfert thermique que l'équation différentielle vérifiée par la température est :

$$\frac{dT}{dt} = \frac{h \times S}{m \times c} (T_e - T)$$

On admet alors que le temps écoulé et la température du système sont liés par la relation :

$$t = - \frac{m \times c}{h \times S} \times \ln \left(\frac{T - T_e}{T_i - T_e} \right)$$

T_i étant la température initiale du système et T_e celle, constante, du milieu extérieur.

6. Calculer la durée pour que le système atteigne la température $T = 20$ °C. Vérifier si cette durée est cohérente avec la recommandation du laboratoire quant au délai d'utilisation du vaccin une fois sorti du réfrigérateur.