EXERCICE 2 : DÉGIVRAGE D'UNE AILE

Le givrage consiste en un dépôt de glace friable ou dure, opaque ou transparente qui adhère à certains éléments de l'avion, en particulier et d'abord aux éléments présentant des parties anguleuses ou des aspérités (bords d'attaque des ailes et des gouvernes, tube d'antenne, têtes de rivet, etc). Le givre peut s'accumuler sur les ailes et nuire à l'aérodynamisme, alourdir l'avion, obscurcir la verrière, diminuer la puissance des réacteurs s'il s'accumule sur les entrées d'air.

Tous les avions récents sont donc équipés de dégivrage automatique. On veut tester dans cet exercice le fonctionnement d'un système qui peut être installé facilement sur un avion léger. Ici, à la place des traditionnels boudins de dégivrage, le bord d'attaque de l'aile présente un revêtement conducteur ultramine en carbone-graphite, piloté par ordinateur qui détecte et qui fait fondre la glace automatiquement. Chauffant, ce système est alimenté par un alternateur dédié de 100 A, qui délivre 7 500 W pour dégivrer les deux ailes.

1 - Test en laboratoire

On veut étudier le système de dégivrage du bord d'attaque d'une aile d'avion, en supposant que la glace est initialement à 0 °C. La bande chauffante (largeur : 20 cm, longueur : 4,0 m) est initialement recouverte de givre sur une épaisseur de 1,0 mm.

On donne :

- Chaleur latente de fusion de la glace : $L_f = 333 \text{ kJ.kg}^{-1}$
- Capacité calorifique de la glace : $C_g = 2060 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Capacité calorifique de l'eau liquide : $C_e = 4186 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Masse volumique de la glace : $\rho_g = 917 \text{ kg.m}^{-3}$

1.1 - Calculer la masse de glace m_g formée et l'énergie thermique E_{th1} à apporter au givre pour le faire entièrement fondre, en supposant que la glace est isolée thermiquement de l'atmosphère environnante.

1.2 - En déduire la puissance électrique P_1 fournie par le système chauffant pour effectuer cette tâche en une durée Δt de 2 minutes.

1.3 - On veut tester ces résultats par une expérience : on place un morceau de glace de masse $m_g = 10,0 \text{ g}$ à une température $\theta_g = 0,0 \text{ °C}$ dans un calorimètre contenant une masse $m_e = 250 \text{ g}$ d'eau à la température initiale $\theta_e = 20,0 \text{ °C}$. On attend que le système atteigne l'équilibre. Déterminer la température finale θ_f de l'eau dans le calorimètre en supposant que la capacité calorifique de celui-ci est négligeable.

2 - Expérience in situ

2.1 - Cette expérience est ensuite réalisée avec $m_g = 10,0 \text{ g}$ de givre réellement prélevé sur l'aile d'un avion juste après l'atterrissage (on supposera que la glace n'a pas eu le temps de se réchauffer après le vol). La température θ_f obtenue est inférieure à celle calculée à la question précédente. D'où vient la différence de température mesurée ?

2.2 - Déterminer l'énergie thermique E_{th2} à apporter pour faire fondre le givre déposé sur la totalité du bord d'attaque d'une aile, sachant que la masse de ce givre déposé est de 734 g et que sa température θ_i en vol est de - 20,0 °C.

2.3 - En déduire la puissance électrique P_2 à apporter au système chauffant pour effectuer cette tâche en deux minutes.

2.4 - Comparer la valeur de la puissance électrique réellement fournie par l'alternateur du système de dégivrage pour les deux ailes avec celle calculée à la **question 1.2**. Justifier la différence entre ces deux valeurs.

EXERCICE 2 : DEGIVRAGE D'UNE AILE

1 - Test en laboratoire 1.1 - $m_g = \rho_g \times V = 917 \times (0,2 \times 4 \times 10^{-3}) = 0,73 \text{ kg}$ $E_{th1} = m_g \times L_f = 0,73 \times 333 \times 10^3 = 2,4 \times 10^5 \text{ J} = 240 \text{ kJ}$	0,5 0,5
1.2 - $P_1 = \frac{E_{th1}}{\Delta t} = \frac{2,4 \times 10^5}{120} = 2,0 \times 10^3 \text{ W}$ car $W_{el} = E_{th1}$	1
1.3 - $Q_{glace} + Q_{eau} = 0$ $m_g \times L_f + m_g C_{glace} (\theta_f - 0) + m_e \times C_{eau} (\theta_f - \theta_e) = 0$ $\theta_f (m_g C_{glace} + m_e C_{eau}) = -m_g L_f + m_e C_{eau} \theta_e$ $\theta_f = \frac{m_e C_{eau} \theta_e - m_g L_f}{m_g C_{glace} + m_e C_{eau}}$ $\theta_f = \frac{0,25 \times 4186 \times 20 - 10^{-2} \times 333 \times 10^3}{10 \times 10^{-3} \times 4186 + 0,25 \times 4186} = 16,2^\circ\text{C}$	1 0,5
2 - Expérience in situ 2.1 - La glace est à une température $\theta_g < 0^\circ\text{C}$	1
2.2 - $E_{th2} = m_{givre} \times c_g (0 - \theta_i) + m_g \times L_f$ $= 734 \times 10^{-3} \times 2060 (20) + 734 \times 10^{-3} \times 333 \times 10^3$ $= 30 \text{ kJ} + 244 \text{ kJ}$ $\square 274 \text{ kJ}$	1
2.3 - $P_2 = \frac{E_{th2}}{\Delta t} = \frac{2,75 \times 10^5}{120} = 2,29 \text{ kW}$	1
2.4 - $P_2 > P_1$, car il a fallu réchauffer la glace de -20°C à 0°C	1