

EXERCICE 4 – A : stockage d'une carotte de glace

Afin de prélever un échantillon de glace, les glaciologues réalisent des forages aussi appelés carottages. Ils consistent en une découpe verticale réalisée à l'aide d'un carottier, un tube en acier en forme de vis, dont l'extrémité est équipée de lames coupantes. Les glaciologues récupèrent un cylindre de glace, la carotte. Celle-ci est alors protégée dans une housse, après avoir été mesurée, numérotée et qualifiée (haut / bas, lieu, profondeur de prélèvement), puis soigneusement stockée dans des boîtes isothermes jusqu'à son transport par conteneur frigorifique.

La chaîne de froid, à mettre en place du lieu de forage jusqu'au stockage, est particulièrement sensible et représente un élément crucial dans une opération de carottage.

On souhaite étudier la performance thermique d'une boîte isolée par un nouveau matériau technique : les panneaux ISOVIP.

Les isolants sous vide

Appelés PIV (panneaux isolants sous-vide) ou VIP (Vacuum Insulation Panels), les isolants sous-vide, qui ont fait leur apparition sur le marché il y a quelques années, restent une solution pour l'isolation par l'intérieur fort intéressante.

Leur principal atout est une conductivité thermique particulièrement faible.



Au moment de leur création, les panneaux ISOVIP présentait la meilleure performance thermique du marché, avec une conductivité thermique λ de $0,0052 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$, **soit 6 à 8 fois moins que les plus performantes des laines de verre actuelles.**

La résistance thermique des panneaux ISOVIP, d'épaisseur $e = 36 \text{ mm}$, est en moyenne de :

- $R = 6,2 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$ pour les petits panneaux ($600 \times 300 \text{ mm}$) ;
- $R = 6,7 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$ pour les grands panneaux ($600 \times 1000 \text{ mm}$).

À noter : le calcul de la résistance thermique pour ce produit fait l'objet d'un traitement un peu spécial, qui tient compte des « **effets de bords** », la conductivité des « bords » de panneaux en polyester métallisé étant supérieure à celle du « cœur de panneau ».

D'où le fait que l'on ne retrouve pas exactement la formule $R = \frac{e}{\lambda}$.

La boîte est transportée dans un conteneur frigorifique dont la température est maintenue constante à $\theta_{\text{conteneur}} = -18 \text{ }^\circ\text{C}$.

Caractéristiques techniques de la boîte isotherme

Constitution des parois :

- plaques en aluminium : épaisseur $1,0 \text{ mm}$, conductivité thermique de l'aluminium $\lambda_{\text{alu}} = 220 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$;
- doublées à l'intérieur de panneaux ISOVIP (4 grands, 4 petits).

Résistance thermique du caisson

1. Calculer la résistance thermique des panneaux ISOVIP obtenue à l'aide de la formule $\frac{e}{\lambda}$.
2. Expliquer la différence entre la résistance calculée et les valeurs réelles annoncées pour les deux types de panneaux.
3. Expliquer qualitativement, pourquoi la résistance thermique ajoutée par la plaque d'aluminium est négligeable pour calculer la résistance globale des parois de la boîte isotherme.

Flux thermique à travers la boîte

4. Donner le sens du transfert thermique entre l'intérieur de la boîte isotherme, où est stockée la carotte à $\theta_{carotte} = -40\text{ °C}$, et le conteneur frigorifique.
5. En déduire si l'expression « pertes thermiques » est appropriée pour la boîte.

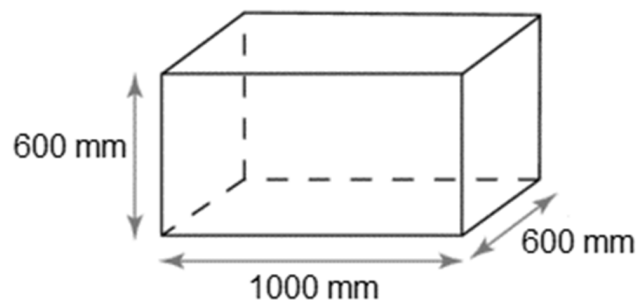
On suppose, pour simplifier, que seule la paroi intervient dans le calcul des pertes thermiques.

Lorsqu'il y a un écart de température $\Delta\theta$ (en °C) de part et d'autre d'une paroi de résistance thermique R_{th} , alors un flux thermique surfacique φ (en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) traverse la paroi ; son expression est :

$$\varphi = \frac{\Delta\theta}{R_{th}}$$

$$\text{avec } \Delta\theta = \theta_{\text{conteneur}} - \theta_{\text{carotte}}$$

6. En tenant compte des dimensions de la boîte données ci-dessous, déterminer le flux thermique Φ à travers la surface totale des parois de la boîte en prenant une valeur moyenne de $R_{th} = 6,5\text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$.



Dimensions du caisson

7. À partir de la capacité thermique massique de la glace, on peut montrer qu'il faut une énergie d'environ 124 kJ pour augmenter de 1 °C la température des 60 kg de carotte de glace contenus dans la boîte isotherme. À l'aide du flux thermique, déduire en combien de temps la température des carottes de glace augmente de 1 °C. Commenter.