

## Devoir surveillé N°2

### Ex N°1/ Dégivrage d'un avion

Le givrage des différentes parties d'un avion est un problème qui peut être résolu de différentes façons. Le réchauffement de zones vulnérables est une méthode très courante de prévention du givrage. On s'intéresse ici au dégivrage par apport d'énergie thermique.



**Données :**

- Capacité thermique massique de l'eau liquide :  $c_{el} = 4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- Capacité thermique massique de l'eau solide :  $c_{es} = 2090 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- Energie massique de fusion de la glace à  $0^\circ\text{C}$  :  $L_{\text{SOLIDE/LIQUIDE}} = L = 333 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
- Masse volumique de l'eau liquide à  $25^\circ\text{C}$  :  $\rho_{el} = 1,0 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$
- Masse volumique de l'eau solide à  $-10^\circ\text{C}$  :  $\rho_{es} = 0,92 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$

Une surface de  $5,0 \text{ m}^2$  de glace recouvre l'aile d'un avion sur une épaisseur d'un demi-millimètre. La température de la glace est  $\theta_1 = -10^\circ\text{C}$ .

**1.1/** Montrer que la masse de glace  $m$  déposée sur l'aile de l'avion est égale à  $2,3 \text{ kg}$ .

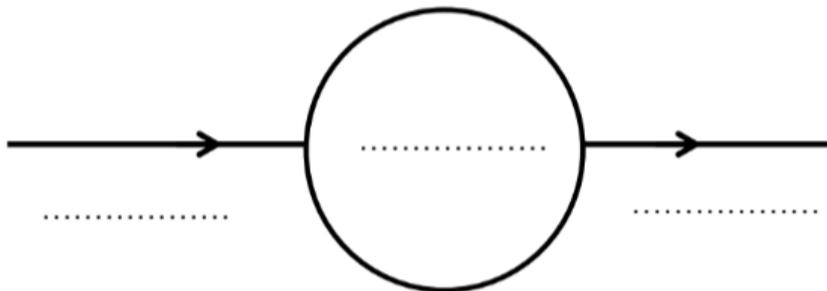
**1.2/** Exprimer puis déterminer la valeur  $E_1$  de l'énergie nécessaire pour augmenter la température de la glace de  $-10^\circ\text{C}$  à  $0^\circ\text{C}$ .

**1.3/** Exprimer puis déterminer la valeur  $E_2$  de l'énergie nécessaire pour transformer à  $0^\circ\text{C}$  la glace en eau liquide.

**1.4/** En déduire la valeur de l'énergie totale nécessaire à cette opération de dégivrage

Cette énergie est apportée par une batterie délivrant une tension commune continue  $U = 28,0 \text{ V}$  et alimentant cinq éléments chauffants résistifs (symbolisés par un conducteur ohmique de résistance globale  $R$ ), répartis sur l'ensemble de l'aile et consommant chacun une puissance électrique  $P_E = 250\text{W}$ .

**1.5/** Compléter la chaîne énergétique simplifiée de la résistance chauffante ci-dessous.



**1.6/** Déterminer la valeur de la puissance de la batterie nécessaire afin d'alimenter la totalité des résistances.

**1.7/** En admettant qu'il n'y a pas de perte thermique au niveau des éléments chauffants résistifs, déterminer la durée  $t_1$  permettant le dégivrage complet de l'aile. Commenter le résultat.

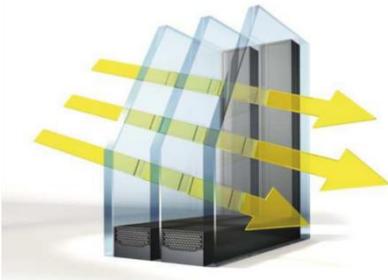
**Ex N°2/ Refuge de montagne**

Le refuge du Goûter, situé à proximité du Mont Blanc à 3835 m d'altitude, est l'un des plus hauts refuges de montagne d'Europe. Sa construction répond à des normes Haute Qualité Environnementale (H.Q.E).

D'architecture ovoïde, conçu pour s'intégrer sur le plan technique et esthétique aux contraintes d'un environnement difficile, le refuge du Goûter préfigure une nouvelle génération de bâtiments. Ce chantier est un véritable défi architectural et technique puisqu'il s'agit de construire un bâtiment avec une structure en bois, sur quatre étages, avec un revêtement extérieur en inox et d'utiliser efficacement les technologies innovantes.



Pour répondre aux conditions climatiques extrêmes liées à cette altitude, un modèle de fenêtre très performant a été réalisé. Elle est constituée d'un triple vitrage et d'un survitrage spécifique. Pour l'isolation entre chaque vitre, l'argon a été choisi comme gaz plutôt que l'air, augmentant ainsi la résistance thermique de la fenêtre.

**Informations sur les fenêtres du refuge****Données :**

Matériau	Conductivité thermique $\lambda$ ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )
air	0,026
argon	0,017
verre de vitre	1,2

**Fenêtre à triple vitrage****Composition du triple vitrage :**

- 2 lames d'argon de 14 mm d'épaisseur chacune ;
- 3 vitres de 4 mm d'épaisseur chacune.

**Apport théorique**

La résistance thermique  $R_{th}$  (en  $K.W^{-1}$ ) d'une paroi a pour expression :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda.S}$$

$\lambda$  : conductivité thermique en  $W.m^{-1}.K^{-1}$  ;

$e$  : épaisseur de la paroi en m ;

$S$  : surface de la paroi en  $m^2$ .

**Caractéristiques de quelques matériaux**

Matériau	Conductivité thermique $\lambda$ ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )	Masse volumique $\rho$ ( $\times 10^3 kg.m^{-3}$ )
acier inoxydable	26	7,8
béton plein	1,8	2,3
brique	0,84	2,1
pierre	3,5	2,7
sapin/épicéa	0,13	0,45
polystyrène	0,036	0,034
laine de verre	0,032	0,025
fibre de bois	0,038	0,2

**2.1/** Les échanges thermiques s'effectuent selon trois modes.

Associer, à chacune des définitions données ci-dessous, le nom du mode de transfert thermique correspondant :

- **définition 1** : transfert d'énergie par ondes électromagnétiques, ne nécessitant pas de milieu matériel ;
- **définition 2** : transfert d'énergie dans un milieu matériel, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température ;
- **définition 3** : transfert d'énergie associé à des mouvements de matière, généralement au sein d'un gaz ou d'un liquide.

**2.2/** Calculer, pour une surface de  $1,0 \text{ m}^2$ , la résistance thermique totale  $R_{th1}$  du triple vitrage d'une fenêtre du refuge, sachant que la résistance thermique totale du triple vitrage est la somme des résistances thermiques de chaque matériau constituant le triple vitrage.

**2.3/** Augmenter l'épaisseur du verre aurait-il une grande influence sur les performances thermiques du vitrage ? Justifier votre réponse en effectuant, par exemple, un calcul.

**2.4/** Déterminer, pour une surface de  $1,0 \text{ m}^2$ , la résistance thermique des murs composés d'une épaisseur de 27 mm d'acier inoxydable, 280 mm de fibre de bois et 30 mm de laine de verre.

**2.5/** Comparer la valeur de la résistance aux valeurs normatives ci-dessous, conclure sur la performance de l'isolation du refuge.

Standards d'isolation	Type RT 2000	Type RT 2005	Type RT 2012
Résistance thermique pour $1 \text{ m}^2$	$R \geq 2,5 \text{ K.W}^{-1}$	$R \geq 3 \text{ K.W}^{-1}$	$R \geq 4 \text{ K.W}^{-1}$

**2.6/** Pour limiter la masse de matériaux utilisés on souhaite réduire l'épaisseur de fibre de bois. Déterminer l'épaisseur limite de fibre de bois correspond à la limite de résistance thermique RT 2012 soit  $R = 4 \text{ K.W}^{-1}$ .

**2.7/** En déduire le gain de masse correspondant en kg pour  $1 \text{ m}^2$  d'isolation.

**Correction****Ex N°1/ Dégivrage d'un avion**

**1.1/** Une surface de 5,0 m<sup>2</sup> de glace recouvre l'aile d'un avion sur une épaisseur d'un demi-millimètre. Calculons son volume :

$$V = S \times e = 5,0 \times 0,5 \times 10^{-3} = 2,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V = 2,5 \text{ L}$$

$$\text{Or } \rho_{\text{es}} = m / V$$

$$m = \rho_{\text{es}} \times V = 0,92 \times 2,5 = 2,3 \text{ kg}$$

**1.2/** Energie nécessaire pour augmenter la température de la glace de -10°C à 0°C :

$$E_1 = m \times c_{\text{es}} \times \Delta\theta = m \times c_{\text{es}} \times (\theta_f - \theta_i) = 2,3 \times 2090 \times (0 - (-10)) = 4,8 \times 10^4 \text{ J}$$

**1.3/** Energie nécessaire pour transformer à 0°C la glace en eau liquide :

$$E_2 = m \times L = 2,3 \times 333 \times 10^3 = 7,7 \times 10^5 \text{ J}$$

**1.4/** Energie totale nécessaire à cette opération de dégivrage :

$$E_{\text{totale}} = E_1 + E_2 = 4,8 \times 10^4 + 7,7 \times 10^5 = 8,2 \times 10^5 \text{ J}$$

**1.5/**

Chaîne énergétique simplifiée d'une résistance chauffante :



**1.6/** D'après le texte : « cinq éléments chauffants résistifs (symbolisés par un conducteur ohmique de résistance globale R), répartis sur l'ensemble de l'aile et consommant chacun une puissance électrique  $P_E = 250 \text{ W}$ . »

$$P_{\text{totale}} = 5 \times 250 = 1250 \text{ W}$$

$$1.7/ t_1 = E_{\text{totale}} / P_{\text{totale}} = 8,2 \times 10^5 / 1250 = 656 \text{ s}$$

En admettant qu'il n'y a pas de perte thermique au niveau des éléments chauffants résistifs, la durée  $t_1$  permettant le dégivrage complet de l'aile est de 11 min. C'est une durée rapide pour un dégivrage.

**Ex N°2/ Refuge de montagne**

**2.1/ Définition 1 :** Transfert thermique par rayonnement ; **Définition 2 :** Conduction thermique ; **Définition 3 :** Convection thermique.

$$\mathbf{2.2/} R_{th1} = 2 R_{th.argon} + 3 R_{th.verre} = 2 \times \frac{0,014}{0,017 \times 1} + 3 \times \frac{0,004}{1,2 \times 1} = 1,647 + 0,010 = 1,657 \text{ K/W}$$

**2.3/** Même si on double l'épaisseur du verre, la résistance thermique sera alors de 1,667 K/W soit une augmentation d'à peine 0,6 %. Autant dire que l'épaisseur des vitres n'est pas une bonne variable d'ajustement pour optimiser la résistance thermique des fenêtres.

$$\mathbf{2.4/} R_{th.mur} = R_{th.acier} + R_{th.fibre} + R_{th.laine} = \frac{0,027}{26 \times 1} + \frac{0,280}{0,038 \times 1} + \frac{0,030}{0,032 \times 1} = 0,001 + 7,368 + 0,936 = 8,307 \text{ K/W}$$

**2.5/** La performance de l'isolation du refuge est conforme aux standards d'isolation du Type RT 2012.

**2.6/** Calcul de la résistance thermique de la fibre de bois afin de répondre à l'isolation RT2012 :

$$R_{th.acier} + R_{th.fibre} + R_{th.laine} = 4 \text{ K/W}$$

$$R_{th.fibre} = 4 - 0,001 - 0,936 = 3,061 \text{ K/W}$$

Calcul de l'épaisseur nécessaire :

$$e' = R_{th.fibre} \times \lambda \times S = 3,061 \times 0,038 \times 1 = 0,116 \text{ m} = 116 \text{ mm}$$

**2.7/** Variation de l'épaisseur de bois :

$$e - e' = 0,280 - 0,116 = 0,164 \text{ m}$$

Gain de masse correspondant en kg pour 1 m<sup>2</sup> d'isolation :

$$m = \rho_{bois} \times V_{bois} = \rho_{bois} \times (e - e') \times S = 0,2 \cdot 10^3 \times 0,164 \times 1 = 32,7 \text{ kg}$$