

**T90. Transfert thermique à travers une paroi.**

La température intérieure de surface d'une paroi est égale à  $T_i = 15\text{ °C}$  et sa température extérieure de surface  $T_e = 13\text{ °C}$ . Son épaisseur est  $e = 10\text{ cm}$ .

Calculer la puissance thermique qui traverse perpendiculairement un mètre carré de cette paroi, en régime stationnaire :

- 1) si elle est en béton (conductivité du béton :  $\lambda_B = 1,75\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )
- 2) si elle est en plâtre (conductivité du plâtre :  $\lambda_p = 0,50\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )
- 3) si elle est en laine de verre (conductivité de la laine de verre :  $\lambda_L = 0,04\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )

Réponse(s) : 35 W ; 10 W ; 0,8 W

**T91. Paroi multicouche.**

On réalise une paroi multicouche avec un mur en béton d'épaisseur  $e_B = 10\text{ cm}$ , une couche de laine de verre d'épaisseur  $e_L = 8\text{ cm}$  et une plaque de plâtre d'épaisseur  $e_p = 2\text{ cm}$ . La température extérieure de surface est  $T_e = 2\text{ °C}$  (côté béton) et la température de surface intérieure est  $T_i = 18\text{ °C}$  (côté plâtre). On donne les conductivités thermiques du béton, de la laine de verre et du plâtre :  $\lambda_B = 1,75\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  ;  $\lambda_L = 0,04\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  ;  $\lambda_p = 0,50\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

- 1) Calculer le flux thermique qui traverse perpendiculairement, en régime stationnaire, un mètre carré de cette paroi.
- 2) Calculer les températures  $T_1$  au point de contact entre le béton et la laine de verre, et  $T_2$  au point de contact entre la laine de verre et le plâtre. Représenter le graphe de  $T(x)$ ,  $x$  représentant la position dans l'épaisseur du mur.

Réponse(s) : 7,63 W ; 2,4 °C ; 17,7 °C

**T92\*. Isolation d'une canalisation.**

Une canalisation en acier de faible épaisseur, de rayon extérieur  $a = 2\text{ cm}$  et de longueur  $L = 30\text{ m}$ , transporte de l'eau à la température  $T_i = 90\text{ °C}$ . Pour diminuer les déperditions thermiques, on l'entoure d'un manchon isolant d'épaisseur  $e = 4\text{ cm}$  en laine de verre. La température de la surface extérieure du manchon est  $T_e = 30\text{ °C}$ .

- 1) Montrer que la résistance thermique du manchon isolant s'exprime par  $R_\theta = \frac{1}{2\pi\lambda L} \ln \frac{a+e}{a}$ .
- 2) On donne les conductivités thermiques de la laine de verre et de l'acier :  $\lambda_L = 0,04\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  ;  $\lambda_A = 50\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Expliquer pourquoi on peut négliger la résistance thermique du métal.
- 3) En déduire les déperditions thermiques (puissance thermique à travers la paroi de la canalisation).

Réponse(s) : 412 W

**T93. Double vitrage.**

Une lame de verre d'épaisseur  $e = 6\text{ mm}$  sépare un local de température  $T_i = 20\text{ °C}$  du milieu extérieur de température  $T_e = 0\text{ °C}$ .

- 1) On rappelle la loi de Newton  $j_{cc} = h(T - T_0)$ ,  $h$  étant le coefficient de transfert thermique de surface, à appliquer à l'intérieur avec  $h_i$  et à l'extérieur avec  $h_e$ . On donne :
  - conductivité thermique du verre  $\lambda = 1,15\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
  - résistance thermique surfacique de contact entre l'ambiance intérieure et la lame de verre :  $1/h_i = 0,11\text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$
  - résistance thermique surfacique de contact entre l'ambiance extérieure et la lame de verre :  $1/h_e = 0,06\text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$
 Calculer les températures de surface de part et d'autre de la vitre, notées  $T_{Si}$  et  $T_{Se}$ .

- 2) On dispose un second vitrage de même épaisseur parallèlement au premier à une distance  $D = 8\text{ mm}$  de celui-ci. Calculer les températures de surface de part et d'autre de chacune des lames de verre.

On donne la résistance thermique surfacique d'une lame d'air d'épaisseur  $8\text{ mm}$  :  $1/h = 0,13\text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$

En déduire les avantages du double vitrage.

Réponse(s) : 7,4 °C et 6,8 °C ; 12,9 °C et 3,9 °C

**T94\*. Chauffage par circulation de vapeur d'eau.**

De l'eau circule dans un tuyau avec un débit  $D_V = 1,8\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ . On veut réchauffer cette eau à l'aide d'une circulation de vapeur d'eau à la température  $T_V = 100\text{ °C}$ . Les deux fluides circulent de part et d'autre de la paroi du tuyau.

On modélise les échanges thermiques avec l'extérieur en utilisant :  $\mathcal{P}_\theta = KS \left( T_V - \frac{T_{E1} + T_{E2}}{2} \right)$

$K$  désigne le coefficient global de transport thermique (ou coefficient de transmission surfacique) :  $K = 1\,400\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ,  $S$  la surface de la paroi interne du tuyau,  $T_{E1}$  et  $T_{E2}$  les températures de l'eau à l'entrée et à la sortie.

- 1) Interpréter cette loi.
- 2) Calculer la surface  $S$  que doit présenter le tuyau pour que l'eau qui entre à  $T_{E1} = 18\text{ °C}$  sorte à  $T_{E2} = 64\text{ °C}$ .
- 3) Quelle est la masse de vapeur d'eau liquéfiée en une heure ?

Données : Capacité thermique massique de l'eau liquide :  $4\,180\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$   
 Chaleur latente massique de vaporisation de l'eau :  $2,26\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Réponse(s) : 1,16 m<sup>2</sup> ; 153 kg

**T 95. Fuite thermique d'une habitation**

L'intérieur ( $T_i = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ) et l'extérieur ( $T_e = 5\text{ }^\circ\text{C}$ ) d'une maison sont séparés par un mur de hauteur  $h = 3\text{ m}$  et de largeur  $L = 10\text{ m}$ .

Le mur, d'épaisseur  $e = 30\text{ cm}$  et de conductivité  $\lambda = 0,7\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , est recouvert (d'un seul côté) par un revêtement isolant d'épaisseur  $e' = 2\text{ cm}$  et de conductivité  $\lambda' = 0,03\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

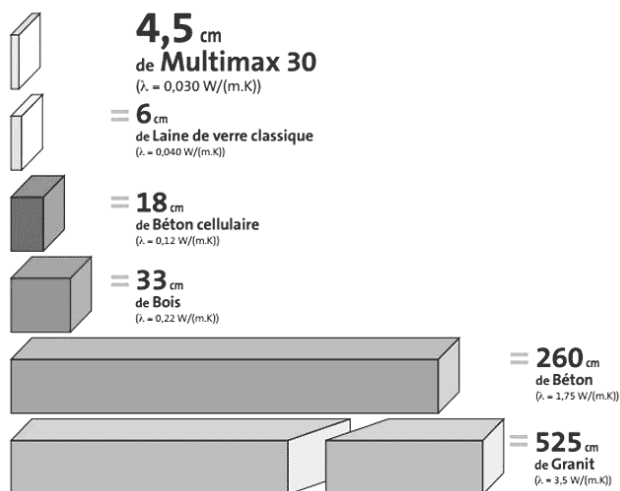
De plus, le mur est percé d'une fenêtre de surface  $S = 4\text{ m}^2$ , constituée d'une épaisseur  $e'' = 2\text{ cm}$  de verre de conductivité  $\lambda'' = 1\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

- 1) Évaluer la puissance totale des pertes thermiques.
  - 2) Quelle proportion des pertes représente la fenêtre ?
- Conclusion.

Rép. : 3,4 kW

**T 96. Publicité honnête ? (ou qu'est-ce qu'un oxymore)**

Pour une résistance thermique identique :



**T97. Pont chauffé.**

Afin d'éviter la formation de verglas et de couche de neige, on maintient la température de la surface supérieure d'un pont à une valeur  $T_{s, sup} = + 2\text{ }^\circ\text{C}$ , à l'aide de câbles électriques chauffants intégrés dans sa structure. Le pont a une longueur de 100 m et comporte deux voies, ayant chacune une largeur de 4 m. Chaque voie est composée de plaques de béton armé de 100 m de longueur, 4 m de largeur et de 30 cm ( $e_1$ ) d'épaisseur, qui sont recouvertes d'une couche d'enrobé de 4 cm ( $e_2$ ) d'épaisseur. La nappe de câbles électriques, d'épaisseur négligeable, est située dans le béton, à 2 cm ( $e$ ) au-dessous de l'enrobé.

Données : on rappelle la loi de Newton :  $j_{cc} = h(T_s - T_\infty)$ ,  $h$  désignant le coefficient de transfert thermique surfacique.

Le coefficient de transfert thermique surfacique pour la surface supérieure du pont sera pris égal à  $h_{sup} = 17\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$  et celui de la surface inférieure à  $h_{inf} = 7\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ .

Conductivité thermique du béton :  $\lambda_1 = 1,163\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

Conductivité thermique de l'enrobé :  $\lambda_2 = 0,58\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

- 1) On demande de déterminer, en régime stationnaire, lorsque la température extérieure  $T_e = -2\text{ }^\circ\text{C}$ , avec un vent faible et pas de précipitation :

- 1a) la densité de courant thermique  $j_{sup}$  au niveau de la surface supérieure du pont ;
- 1b) la température  $T_c$  des câbles chauffants et la densité de courant thermique  $j_{inf}$  au niveau inférieur du pont ;
- 1c) la température  $T_{s, inf}$  de la surface inférieure du pont ;
- 1d) la puissance totale nécessaire pour assurer le fonctionnement de l'installation.

- 2) Reprendre le problème précédent lors d'une chute de neige, ce qui a pour effet de modifier fortement le coefficient de transfert thermique surfacique de la partie supérieure du pont qui passe à la valeur  $h_{sup} = 116\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ .

- 3) La couche de neige a une épaisseur de 5 cm et une densité de 0,5. Nous admettons que du point de vue de leurs propriétés calorimétriques, les 5 centimètres de neige sont équivalents à 2,5 cm de glace de densité  $\approx 1$ , à la température  $T_e$ . En régime stationnaire, quelle sera la durée de la fonte de cette neige, si on utilise la puissance calculée pour le 2) ?

Données complémentaires :

Enthalpie massique de fusion de la glace :  $335\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Capacité thermique massique de la glace :  $2\text{ }100\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

Réponse(s) : 1a)  $68\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  ; b)  $7,9\text{ }^\circ\text{C}$  ;  $25,7\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  ; c)  $1,7\text{ }^\circ\text{C}$  ; d)  $75\text{ kW}$  ;  
 2a)  $464\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  ; b)  $42\text{ }^\circ\text{C}$  ;  $114,6\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  ; c)  $14,4\text{ }^\circ\text{C}$  ; d)  $463\text{ kW}$  ; 3) 5 h 05 min

**T98. Dimension de la conductivité**

- 1) Déterminer la dimension de  $\lambda$  en fonction de  $[\varnothing]$ . En déduire son unité.
- 2) Dimension de  $\lambda$  en fonction des grandeurs fondamentales : montrer que  $[\lambda] = \text{MLT}^{-3}\Theta^{-1}$