

3^{ème} Année licence : Physique fondamentale
Module : Transfert de chaleur
Corrigé de TD3 : Transfert par convection

Exercice 1 :

Soit une maison dont le mur extérieur a une surface (S). Ce mur d'épaisseur $L = 40$ cm est en pierre. Il a une conductivité thermique $\lambda = 2 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$. La température à l'intérieur de la maison est $T_i = 20\text{°C}$, la température extérieure vaut $T_e = 0\text{°C}$, le coefficient d'échange intérieur est $h_i = 9 \text{ W.m}^{-2}.\text{°C}^{-1}$ et le coefficient d'échange extérieur est $h_e = 17 \text{ W.m}^{-2}.\text{°C}^{-1}$.

- 1) Calculer la densité de flux φ échangée à travers ce mur.
- 2) Calculer les températures des faces interne et externe T_{pi} et T_{pe} du mur.

Solution :

Dans ce qui suit, on néglige l'effet de la couche limite et on considèrera que le transfert de chaleur l'air se fait par convection.

1) Calcul de la densité de flux $\varphi = \Phi/S$ échangée à travers le mur

- Le flux de chaleur Φ transféré par convection de l'intérieur de la maison à la paroi interne du mur est :

$$\Phi = h_i S (T_i - T_{pi}) \Rightarrow T_i - T_{pi} = \frac{\Phi}{h_i S} = \frac{\varphi}{h_i} \quad (1)$$

- Le flux de chaleur Φ transféré par conduction à travers le mur d'épaisseur L et de conductivité thermique λ est :

$$\Phi = \frac{\lambda S (T_{pi} - T_{pe})}{L} \Rightarrow T_{pi} - T_{pe} = \frac{L}{\lambda S} \Phi = \frac{L}{\lambda} \varphi \quad (2)$$

- Le flux de chaleur Φ transféré par convection de la paroi externe du mur vers l'extérieur est :

$$\Phi = h_e S (T_{pe} - T_e) \Rightarrow T_{pe} - T_e = \frac{\Phi}{h_e S} = \frac{\varphi}{h_e} \quad (3)$$

Or :

$$\begin{aligned}
T_i - T_e &= (T_i - T_{pi}) + (T_{pi} - T_{pe}) + (T_{pe} - T_e) = \frac{\varphi}{h_i} + \frac{L}{\lambda} \varphi + \frac{\varphi}{h_e} \\
&= \left(\frac{1}{h_i} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_e} \right) \varphi \Rightarrow \varphi = \frac{T_i - T_e}{\frac{1}{h_i} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_e}} = \frac{20 - 0}{\frac{1}{9} + \frac{0.4}{2} + \frac{1}{17}} \\
&= 54 \text{ W.m}^{-2}
\end{aligned}$$

2) Calcul les températures des faces interne et externe T_{pi} et T_{pe} du mur :

• De (1), il vient :

$$T_{pi} = T_i - \frac{\varphi}{h_i} = 20 - \frac{54}{9} = 14 \text{ }^\circ\text{C}$$

• De (3), il vient :

$$T_{pe} = T_e + \frac{\varphi}{h_e} = 0 + \frac{54}{17} = 3.2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Exercice 2 :

Considérons le mur de l'exercice 1. On place maintenant contre la façade interne de ce mur un isolant d'épaisseur $e = 7,5 \text{ cm}$ et de conductivité $\lambda_{is} = 0.4 \text{ W.m}^{-1}.\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

- 1) Calculer la densité de flux φ' échangé à travers le mur composite.
- 2) Calculer les températures des parois interne et externe T'_{pi} et T'_{pe} .
- 3) Calculer la température T'_s à la séparation isolant-mur en pierre.
- 4) Conclusion.

Solution :

On néglige là aussi l'effet de la couche limite et on considèrera que le transfert de chaleur dans l'air se fait par convection.

1) Calcul de la densité de flux φ' échangé à travers le mur composite :

• Le flux de chaleur Φ' transféré par convection de l'intérieur de la maison à la paroi interne de l'isolant est :

$$\Phi' = h_i S (T_i - T'_{pi}) \Rightarrow T_i - T'_{pi} = \frac{\Phi'}{h_i S} = \frac{\varphi'}{h_i} \quad (1)$$

- Le flux de chaleur Φ' transféré par conduction à travers l'isolant d'épaisseur e et de conductivité thermique λ_{is} est :

$$\Phi' = \frac{\lambda_{is} S (T'_{Pi} - T'_S)}{e} \Rightarrow T'_{Pi} - T'_S = \frac{e}{\lambda_{is} S} \Phi' = \frac{e}{\lambda} \varphi' \quad (2)$$

Où T'_S est la température de l'interface isolant-mur.

- Le flux de chaleur Φ' transféré par conduction à travers le mur d'épaisseur L et de conductivité thermique λ est :

$$\Phi = \frac{\lambda S (T'_S - T'_{Pe})}{L} \Rightarrow T'_S - T'_{Pe} = \frac{L}{\lambda S} \Phi' = \frac{L}{\lambda} \varphi' \quad (3)$$

Où T'_{Pe} est la température de la paroi externe du mur.

- Le flux de chaleur Φ' transféré par convection de la paroi externe du mur vers le milieu extérieur est :

$$\Phi' = h_e S (T'_{Pe} - T_e) \Rightarrow T'_{Pe} - T_e = \frac{\Phi'}{h_e S} = \frac{\varphi'}{h_e} \quad (4)$$

Or :

$$\begin{aligned} T_i - T_e &= (T_i - T'_{Pi}) + (T'_{Pi} - T'_S) + (T'_S - T'_{Pe}) + (T'_{Pe} - T_e) \\ &= \left(\frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda_{is}} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_e} \right) \varphi' \Rightarrow \varphi' = \frac{T_i - T_e}{\frac{1}{h_i} + \frac{e}{\lambda_{is}} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_e}} \\ &= \frac{20 - 0}{\frac{1}{9} + \frac{0.075}{0.4} + \frac{0.4}{2} + \frac{1}{17}} = 35.87 \text{ W.m}^{-2} \end{aligned}$$

2) Calcul les températures des parois interne et externe T'_{Pi} et T'_{Pe} :

- De (1), il vient :

$$T'_{Pi} = T_i - \frac{\varphi'}{h_i} = 20 - \frac{35.87}{9} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$$

- De (4), il vient :

$$T'_{Pe} = T_e + \frac{\varphi'}{h_e} = 0 + \frac{35.87}{17} = 2.1^\circ\text{C}$$

3) Calcul de la température T'_s à la séparation isolant-mur en pierre :

• De (3), il vient :

$$T'_s = T'_{Pe} + \frac{L}{\lambda} \varphi' = 2.1 + \frac{0.4}{2} (35.87) = 9.3^\circ\text{C}$$

4) Conclusion :

Par rapport à φ , la densité de flux φ' représente :

$$\frac{\varphi'}{\varphi} = \frac{35.87}{54} = 66.4\%$$

⇒ Amélioration de l'isolation thermique du mur grâce à l'ajout de l'isolant de 7.5 cm d'épaisseur.

Exercice 3 :

Quelle est la différence entre un transfert de chaleur par convection naturelle et un transfert par convection forcée. Etayer vos réponses par des exemples de la vie courante.

Solution :

Dans le transfert de chaleur par convection, il y a déplacement de la matière. Il ne concerne donc que les fluides (liquides et gaz). Ces mouvements sont dus à des différences de pression et/ou à des différences de masses volumiques (qui varient en fonction de la température au sein du fluide). Dans le premier cas, l'écoulement a pour origine des forces extérieures (pompe, turbine, ventilateur, etc.). La convection est dite forcée. Dans le second cas, l'écoulement se fait naturellement (librement). Il résulte des différences de densités des différentes zones du fluide (liées à la température). La convection est dite naturelle (mouvement de l'eau dans une casserole posée sur le feu, chauffage d'une chambre par le sol, ...). De plus, dans la convection naturelle, la couche limite est plus épaisse que dans le cas de la convection forcée, de l'ordre de quelques millimètres, donc h plus petit.

Bon courage
Prof. S. KHENE