la Convection (loi de Newton)

2. Expression du flux par convection

La loi fondamentale de la convection ou la loi de Newton , traduite par la relation expérimentale de flux de chaleur échangé par convection entre un fluide et une paroi solide.

$$\phi_{conv} = h_c . S . (T_1 - T_2)$$

ϕ_{conv} : Flux thermique par convection en Watt.

.h_c *: coef de transfert par convection en w/m²°c*

S: surface de l'élément considéré en m²

T_1-T_2:différence des températures intérieure et extérieure en °C

Remarque

- Le coefficient de transfert thermique $\boldsymbol{h_c}$ dépend de :

  -- La vitesse de circulation du fluide.

  -- L'écart de température ΔT.

  -- La nature du fluide.

-Dans le cas d'une paroi de bâtiment, il existe deux coefficient de transmission thermique par convection (interne et externe) h_i et h_e

On définit :

la résistance thermique d’échange intérieure

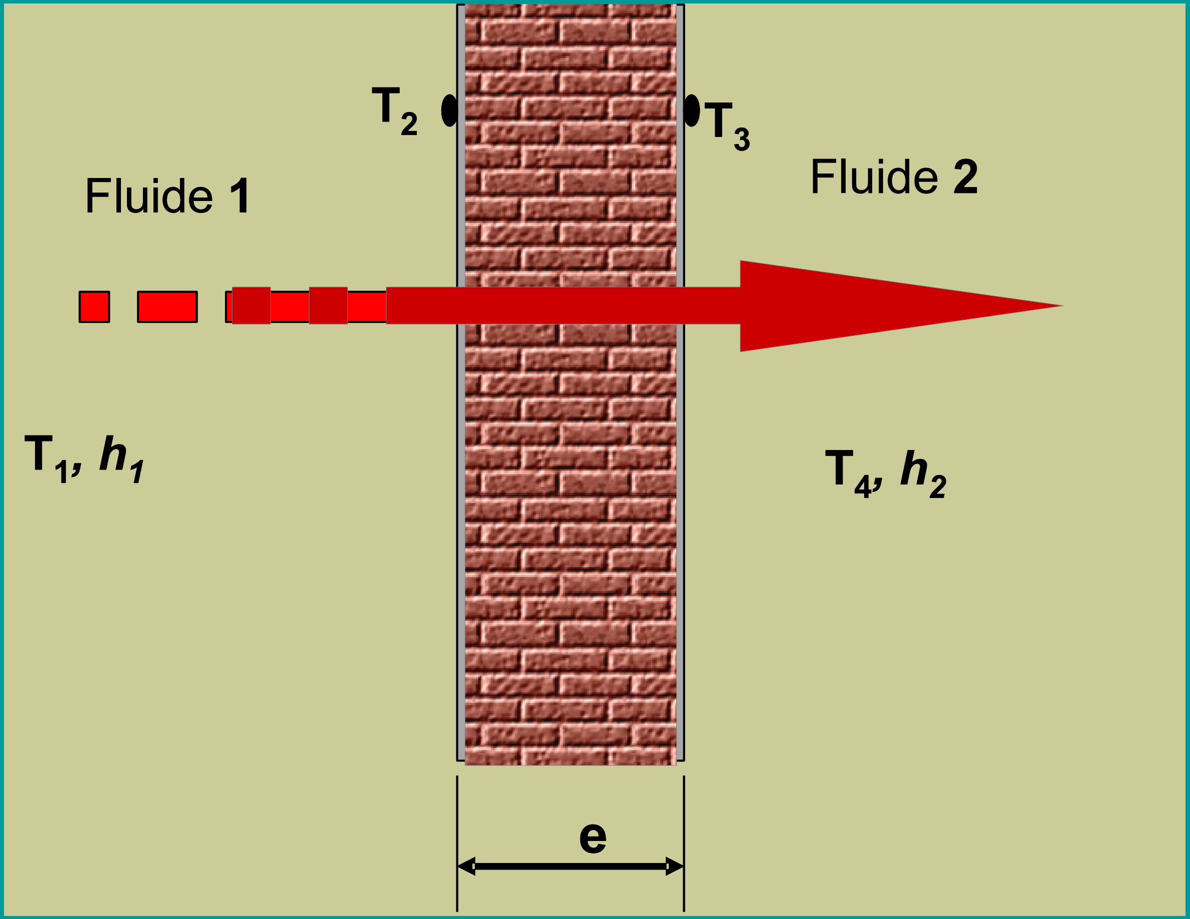
$$r_i = \frac{1}{h_{\text{int}}}$$ en (m² °C / W)

la résistance thermique d’échange extérieure

$$r_i = \frac{1}{h_{ext}}$$ en (m² °C / W)

Exemple : Convection et conduction en série

Soient, λ et e : la conductivité thermique et l'épaisseur du mur respectivement.



1- Donnez l'expression du flux thermique total ?

-La conservation du flux thermique ϕ donne les égalités suivantes:

$$\phi = h_1.S.(T_1 - T_2) = \frac{\lambda.S}{e}.(T_2 - T_3) = h_2.S.(T_3 - T_4)$$

$$\Leftrightarrow \frac{(T_1 - T_2)}{\dfrac{1}{h_1.S}} = \frac{(T_2 - T_3)}{\dfrac{e}{\lambda.S}} = \frac{(T_3 - T_4)}{\dfrac{1}{h_2.S}} = \frac{(T_1 - T_4)}{\dfrac{1}{h_1.S} + \dfrac{e}{\lambda.S} + \dfrac{1}{h_2.S}}$$

Analogiquement à loi d'Ohm du coté électrique on a :

Schéma électrique équivalent

Application N° 1 :

Une paroi d'un four électrique est constituée de trois matériaux isolants en série :

- Une couche intérieure de 18 cm d'épaisseur est en briques réfractaires ($\lambda = 1{,}175$ W/m.°C);

- Une couche de *briques isolantes* de 15 cm d'épaisseur ($\lambda = 0{,}259$ W/m.°C);

Et une épaisseur suffisante de briques ($\lambda = 0{,}693$ W/m.°C).

1. Quelle épaisseur de briques doit-on utiliser pour réduire les pertes de chaleur à 721 W/m² lorsque les températures extérieures et intérieures sont respectivement 38°C et 820°C ?

2. Lors de la construction on maintient un espace libre de 0,32 cm, ($\lambda = 0{,}0317$ W/m.°C) entre les *briques isolantes* et les briques.

-Quelle épaisseur de briques est alors nécessaire ?

3. La température ambiante étant de 25°C,

-Calculer le coefficient de transfert convectif h_c à l'extérieur de la paroi.

$T_1 := 820 \cdot °C$ $T_4 := 38 \cdot °C$

briques réfractaires :

$\lambda_1 := 1.175 \cdot \frac{W}{m \cdot °C}$ $e_1 := 18 \cdot cm$

briques isolantes :

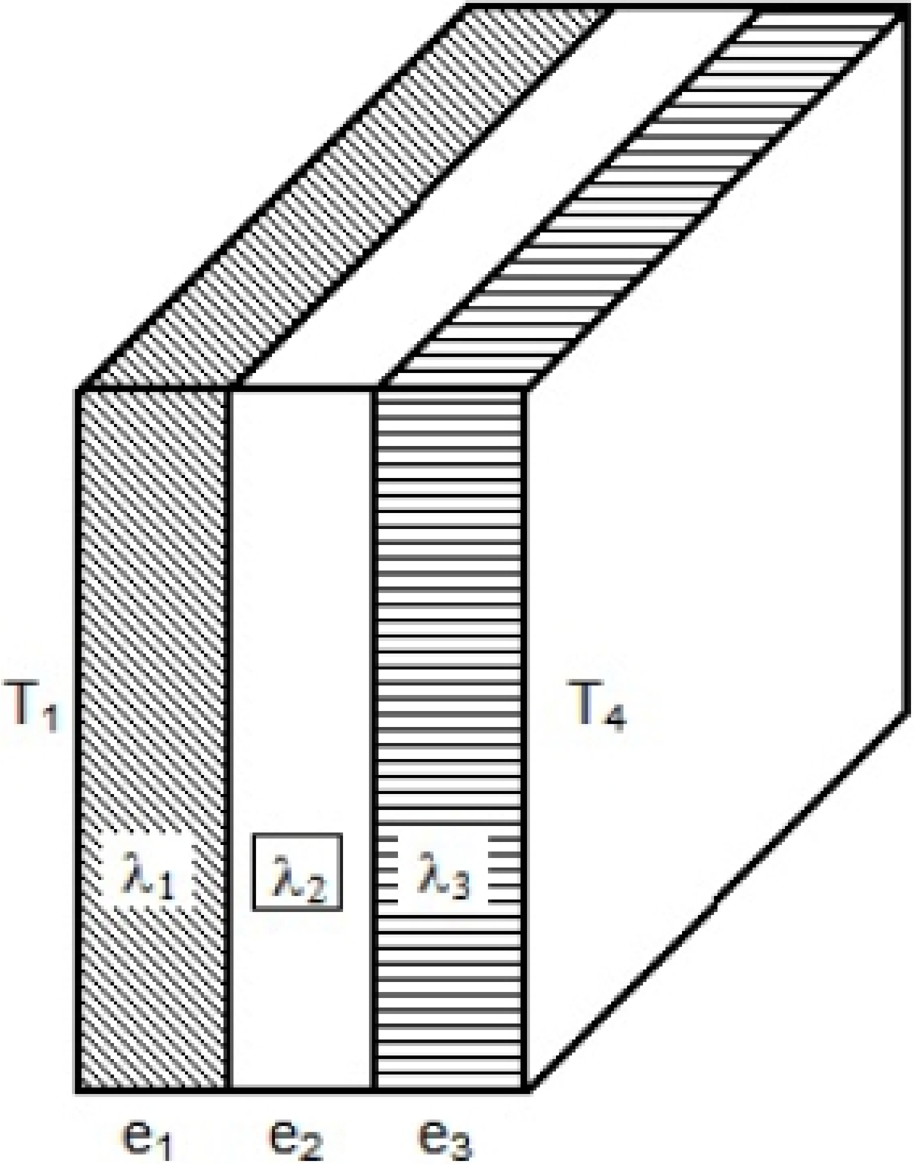
$\lambda_2 := 0.259 \cdot \frac{W}{m \cdot °C}$ $e_2 := 15 \cdot cm$

briques :

$\lambda_3 := 0.693 \cdot \frac{W}{m \cdot °C}$

pertes maxi :

$\phi := 721 \cdot \frac{W}{m^2}$



Mur composé

Solution

Conduction en régime permanent : Φ est constant

$$\Phi = \varphi \cdot S = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx} \cdot S$$

On intègre pour chaque épaisseur, chaque valeur de λ constante

$$\Phi = \frac{T_1 - T_2}{\frac{e_1}{\lambda_1 \cdot S}} = \frac{T_2 - T_3}{\frac{e_2}{\lambda_2 \cdot S}} = \frac{T_3 - T_4}{\frac{e_3}{\lambda_3 \cdot S}}$$

$$\phi = \frac{\Phi}{S} = \frac{T_1 - T_4}{\frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3}}$$

1. Epaisseur de briques

$$e_3 := \lambda_3 \cdot \left(\frac{T_1 - T_4}{\phi} - \frac{e_1}{\lambda_1} - \frac{e_2}{\lambda_2} \right)$$

$$0.693 \cdot \left(\frac{820 - 38}{721} - \frac{.18}{1.175} - \frac{.15}{0.259} \right)$$

$$e_3 = 24.4 \cdot cm$$

Donc $e_3 = 24.4$ cm

2. Couche supplémentaire : $\lambda'_2 := 0.0317 \cdot \frac{W}{m \cdot °C}$ $e'_2 := 0.32 \cdot cm$

Cela revient à rajouter une résistance thermique :

$$\phi = \frac{\Phi}{S} = \frac{T_1 - T_4}{\frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e'_2}{\lambda'_2} + \frac{e_3}{\lambda_3}}$$

$$e'_3 := \lambda_3 \cdot \left(\frac{T_1 - T_4}{\phi} - \frac{e_1}{\lambda_1} - \frac{e_2}{\lambda_2} - \frac{e'_2}{\lambda'_2} \right) \qquad 0.693 \cdot \left(\frac{820 - 38}{721} - \frac{.18}{1.175} - \frac{.15}{0.259} - \frac{0.0032}{0.0317} \right) \qquad e'_3 = 17.4 \cdot cm$$

- e$_3$ = *17.4 cm*

Le gain ep = 24.4 - 17.4 = 7cm

Un gain de 7 cm de briques pour 3,2 mm d'air.

3. Convection :

$$\Phi = h_c \cdot S \cdot (T_4 - T_a)$$

$$h_c := \frac{\Phi}{T_4 - T_a}$$

Avec $T_a = 25\ °C$

$$h_c = \frac{721}{38 - 25} = 55.46\ \mathrm{W/m^2\ °C}$$