

## Transfert de chaleur

### Introduction

La chaleur est une forme d'énergie, elle se propage à travers les corps suivant trois modes de transmission différents :

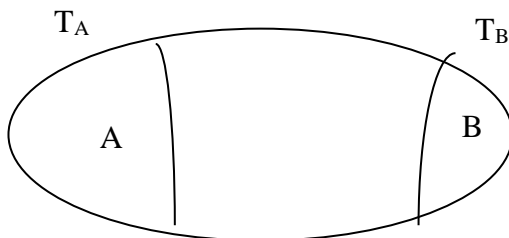
- La conduction
- La convection
- Le rayonnement

### 1. La conduction de chaleur

-La conduction est un transfert de la chaleur dans un milieu matériel c.à.d. dans un corps ou plusieurs (solide, liquide, gaz)

-La chaleur passe des parties les plus chaudes aux parties les plus froides d'un même corps ou de deux corps en contact sans déplacement de matière.

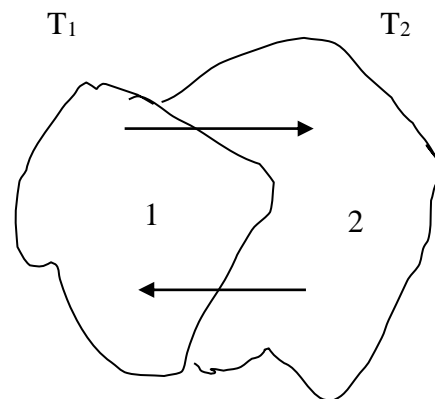
-La transmission de chaleur par conduction a lieu dans un seul et même corps lorsque ses parties présentent des températures différentes ou d'un corps à un autre si les deux corps ayant des températures différentes sont en contact.



Si  $T_A \neq T_B$  il y aura de chaleur de sens de transmission se fera d'après que :

$T_A > T_B$  : A  $\longrightarrow$  B

$T_A < T_B$  : B  $\longrightarrow$  A



Si  $T_1 \neq T_2$  il y aura de transmission de chaleur, ceci se fait toujours du corps chaud vers le corps froid.

## Loi fondamentale de la conduction thermique

### Loi de Fourier

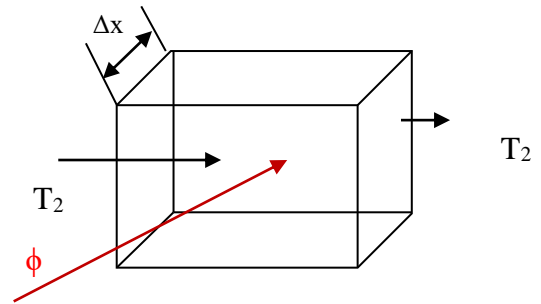
La loi fondamentale qui gouverne la conduction de la chaleur peut être illustrée en considérant l'exemple suivant :

Soit une paroi ayant une surface « S » et une épaisseur «  $\Delta x$  »

$T_1$  température de la face gauche.

$T_2$  température de la face droite.

Donc une face de la paroi est à une température  $T_2$  .



$\phi$  : est le flux thermique à travers la paroi qui est la quantité de chaleur qui s'écoule à travers cette paroi par unité de temps.

L'équation générale de la conduction est :

$$\phi = - \int \lambda \times \frac{dT}{dx} \times dS$$

$\lambda$  : est la conductivité thermique du matériau exprimée en (W/m°C) ou bien en (kcal/h.m°C).

Les études expérimentales ont montré que le flux thermique est directement proportionnel à la surface et à la différence de température mais inversement proportionnel à l'épaisseur  $\Delta x$ .

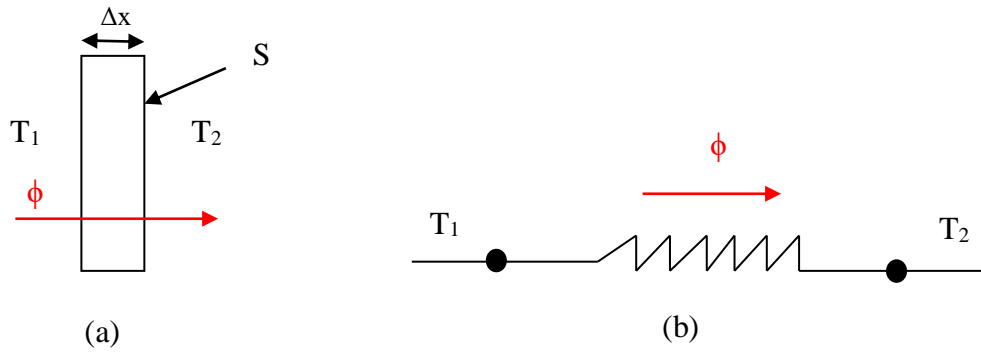
$$\phi = \lambda \times S \times \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -\lambda \times S \times \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

### Densité du flux de chaleur

La densité du flux de chaleur par conduction à travers une surface est proportionnelle au gradient de température pris dans une direction normale à la surface à un point considéré.

## Résistance thermique

Il est très souvent utile de faire l'analogie entre le flux de chaleur et le courant électrique, le mur plan se comporte alors comme une résistance.



(a) : conduction thermique à travers un mur simple plan .

(b) : circuit thermique équivalent.

$$\phi = -\lambda \times S \times \frac{\Delta T}{\Delta x} = \lambda \times S \times \frac{T_1 - T_2}{\frac{\Delta x}{\lambda \times S}} = \frac{T_1 - T_2}{R}$$

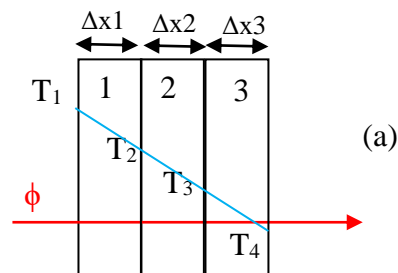
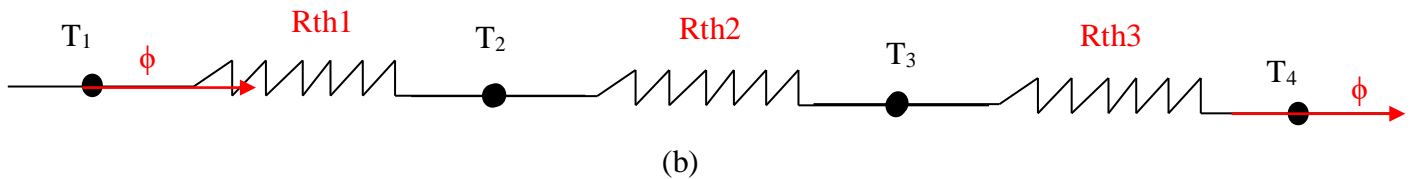
Donc :

$$R_{th} = \frac{\Delta x}{\lambda \times S}$$

$R_{th}$  représente la résistance thermique en ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ ) ou bien en ( $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C / kcal$ )

$$\phi = \frac{T_1 - T_2}{R_{th}}$$

$$I = \frac{U_1 - U_2}{R_{\text{électrique}}}$$

**Pour le mur plan composé****Schéma équivalent**

$$R_{eq} = R_{th1} + R_{th2} + R_{th3}$$

Donc le flux total se calcule comme suit

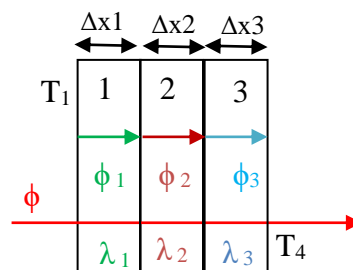
$$\phi = \frac{T_1 - T_4}{R_{th1} + R_{th2} + R_{th3}} = \phi_1 = \phi_2 = \phi_3$$

L'expression des trois flux s'écrit comme suit :

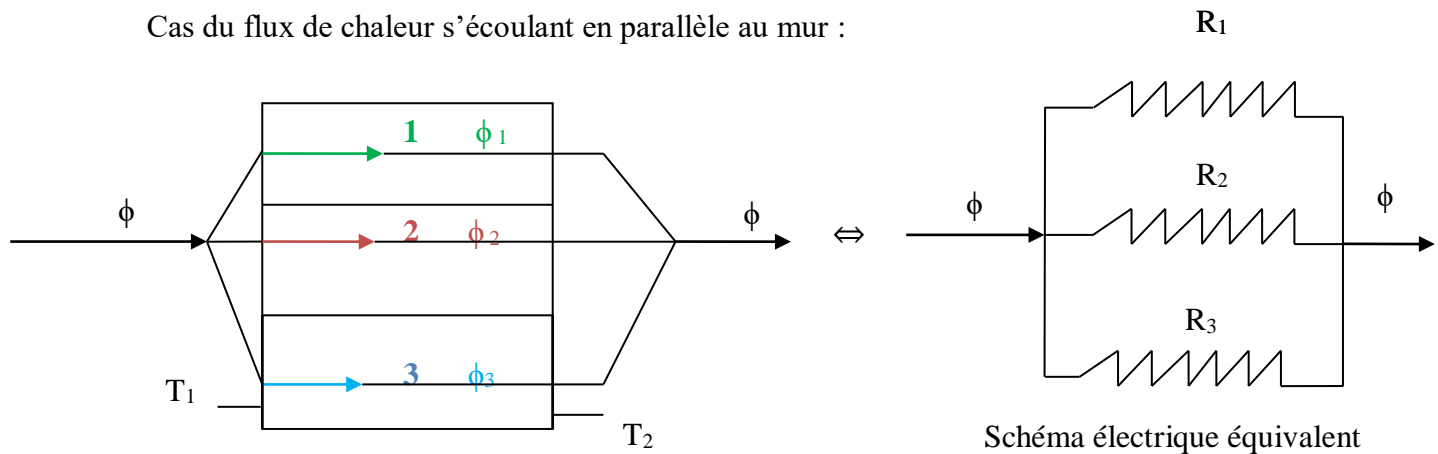
$$\phi_1 = \frac{T_1 - T_2}{R_{th1}}, \quad \phi_2 = \frac{T_2 - T_3}{R_{th2}}, \quad \phi_3 = \frac{T_3 - T_4}{R_{th3}}$$

Donc le même flux que traverse chaque résistance, si on a « n » couches (figure ci-dessous) on aura l'expression du flux suivante :

$$\phi = \frac{T_1 - T_{n+1}}{\sum_{i=1}^n R_{thi}}, \quad \text{où : } \phi_1 = \phi_2 = \phi_3 \dots \dots \dots = \phi_n$$



Cas du flux de chaleur s'écoulant en parallèle au mur :



La résistance thermique équivalente se calcule comme suit :

$$\frac{1}{R_{th}} = \frac{1}{R_{th1}} + \frac{1}{R_{th2}} + \frac{1}{R_{th3}}$$

Tapez une équation ici.

$$\phi = \frac{T_1 - T_2}{R} = \frac{1}{R} \times (T_1 - T_2) = \left( \frac{1}{R_{th1}} + \frac{1}{R_{th2}} + \frac{1}{R_{th3}} \right) \times (T_1 - T_2)$$

$$\begin{aligned} \phi &= \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 = \frac{T_1 - T_2}{R_1} + \frac{T_1 - T_2}{R_2} + \frac{T_1 - T_2}{R_3} \\ \Rightarrow \phi &= (T_1 - T_2) \times \left( \frac{1}{R_{th1}} + \frac{1}{R_{th2}} + \frac{1}{R_{th3}} \right) \end{aligned}$$

## 2. Convection de chaleur

La convection est le mode de transmission de la chaleur entre un milieu solide à la température «  $T_1$  » et un milieu fluide (liquide, ou gaz) à la température «  $T_2$  » qui circule à son contact.

La convection aura lieu par la différence de densité provoquée par une différence de température.

Il y a deux types de convection :

**La convection naturelle** ou libre (cas d'une chambre)

**La convection forcée** (cas de l'existence d'un ventilateur dans la chambre)

## Loi fondamentale de la convection

### Loi de Newton

La prédiction des flux thermiques par convection entre une surface solide et un fluide ambiant (qui entoure la surface) doit prendre en considération les principes de la conduction de chaleur, de la dynamique des fluides et de la théorie de la couche limite. Toutes ces complications peuvent être associées en un seul paramètre par la loi de Newton.

$$\Phi = \alpha \times S \times (T_s - T_f) = \alpha \times S \times \Delta T$$

$\alpha$  : coefficient de convection thermique (W/m<sup>2</sup>°K) ou (Kcal/hm<sup>2</sup>°K)

$S$  : surface de convection (de contact entre le fluide et le solide)

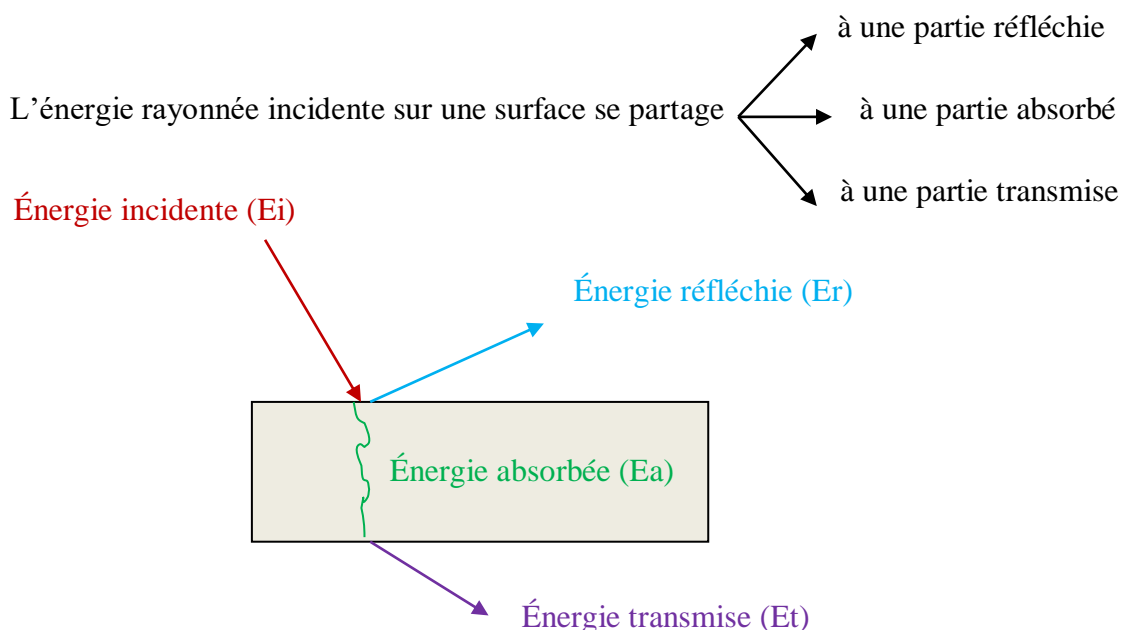
$\Delta T$  : température solide – fluide

$\Phi$  : flux de chaleur par convection à la surface du solide.

### 3. Rayonnement

Le rayonnement est une transmission rapide de la chaleur à la manière de la lumière c.à.d. radiation électromagnétique sans que l'existence d'un milieu matériel soit nécessaire.

-Tout corps émet des radiations transportent de l'énergie. Quand la radiation émise par un corps arrive sur un autre corps, celle-ci peut être réfléchi, transmise ou absorbée. Par exemple l'échange de chaleur par rayonnement entre le soleil et la terre.



On note que :

$\alpha$  : est le facteur d'absorption appelé aussi absorptivité, il donne la quantité de l'énergie absorbée par un corps exposé à l'incidence de l'énergie rayonnée.

$\rho$  : est le facteur de réflexion appelé aussi réflectance, il donne la quantité de l'énergie réfléchie par un corps exposé à l'incidence de l'énergie rayonnée.

$\tau$  : est le facteur de transmission appelé aussi transmittance, il donne la quantité de l'énergie transmise par un corps exposé à l'incidence de l'énergie rayonnée.

### Équation fondamentale du rayonnement thermique

#### Loi de Stephan Boltzman

Le flux de chaleur échangé par rayonnement est proportionnel à la 4<sup>ième</sup> puissance de la valeur des températures absolues des corps rayonnants. Ce flux est donné par la loi de Loi de Stephan Boltzman comme suit :

$$\phi_r = \varepsilon \times \sigma \times S \times T^4$$

T : température absolue en (°K)

$\varepsilon$  : emissivité de la surface.

S : surface du corps rayonnant (m<sup>2</sup>)

$\sigma$  : constante de Stephan Boltzman égale à  $5.68 \times 10^{-8}$  (W/ m<sup>2</sup> °K<sup>4</sup>)

on donne : 1 Kcal = 4180 Joule.