2.Lois fondamentales du transfert de la chaleur

2.1 Loi fondamentale de la conduction (loi de J. Fourier)

Le mode de transfert assuré par la conduction thermique est régit par la loi de Fourier, cette dernière a été proposée par le mathématicien et physicien Français, Jean Baptiste Joseph Fourier en 1822.

La loi de **J. Fourier** est basée sur l'étude d'un milieu isotrope où la densité de flux thermique instantané, est proportionnelle à la conductivité thermique du milieu et au gradient de température.

En prenant en considération les principes fondamentaux de la thermodynamique :

- Energie est conservée en l'absence d'une source de chaleur ;

- Chaleur transmise passe toujours du corps chaud vers le corps froid (T1>T2) ;

Le flux de chaleur est donné comme suit :

$$\emptyset = -\lambda\, S \frac{\partial T}{\partial x} \text{.........} \ (3)$$

Dans cette expression, $\emptyset$ est le flux de chaleur, S la surface d'échange de chaleur, λ est le coefficient de conduction thermique ou conductivité thermique ([W/m.K] ou [kcal/h.m.C]) .

La conductivité thermique présente la capacité d'un matériau à transporter la chaleur par conduction, elle dépend de la nature du corps ainsi que la température.

La densité du flux de chaleur en conduction est donnée par l'expression :

$$\overrightarrow{\varphi} = -\lambda\, \overrightarrow{grad}\, T \quad \text{......}(4)$$

Selon l'abscisse x :

$$\varphi = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \text{.........} \ (5)$$

Si le régime est permanent, c'est-à-dire qu'il ne varie pas dans le temps, on a :

$\frac{\partial T}{\partial x} \approx \frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{T_2 - T_1}{e}$ **(6)** (e : épaisseur) ce qui implique : $\emptyset = -\lambda\, S \frac{T_2 - T_1}{e}$ **(7) &** $\varphi = -\lambda \frac{T_2 - T_1}{e}$ **(8)**

Remarque

Les matériaux conducteurs de la chaleur, ont une conductivité λ élevée et inversement sera faible pour les isolants.

Exemples :

$\lambda_{laine\ de\ verre}$ = 0,04 W/mK, λ_{air} = 0,026 W/mK (l'air immobile est un très bon isolant) ,λ_{verre} = 1,2 W/mK, λ_{cuivre} = 390 W/mK.

Exercice d'application

-Un mur de briques d'une épaisseur de 0,35m (dimensions 0,75m x 1,08m) et conductivité thermique 0,7W/mK, reçoit une quantité de chaleur où les températures externes de cette paroi sont les suivantes :1200 K et 800 K. Calculer le flux de chaleur reçu par cette paroi.

2.2 Convection (loi de Newton)

Le calcul de la chaleur transférée par convection dépend de la nature du fluide, du type d'écoulement (turbulent ou laminaire) et des températures.

Le flux de chaleur est donné par la loi de Newton :

$$\emptyset = \mathrm{h}\ \mathrm{S}(\boldsymbol{T_p} - \boldsymbol{T}_\infty) \text{........(9)}$$

h : coefficient de convection en W/m^{2}K.

S : Surface d'échange.

La convection se déroule entre une surface solide et un fluide, la couche qui sépare les deux est considérée comme une couche de transition dans laquelle la température change de Tp à $T\infty$ ou l'inverse (T_p température du solide ; T_∞ Température du fluide).

2.3 Rayonnement (loi de Stefan-Boltzmann)

Le flux de chaleur émis par les surfaces (énergie sous forme d'ondes électromagnétiques),en absence d'un milieu intermédiaire, s'exprime grâce à la loi de Joseph Stefan (1835-1893) et Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906).

La valeur maximale du flux de chaleur émis par une surface est donnée par la loi de Stefan-Boltzmann (Cas d'un corps idéal ou corps noir)

$\emptyset_{max} = \boldsymbol{\sigma S T_p^4}$ ……(10)

σ : Constante de Stefan-Boltzmann (σ = 5 ,67 10^{-8}W / m^2 .K^4)

T_p : Température de la surface en K.

Le flux de chaleur émis par une surface réelle qui n'est pas idéale est plus petit que celui émis par un corps noir :

$\emptyset_{Surface\ réelle} = \boldsymbol{\varepsilon \sigma S T_p^4}$ …… (11)

ε : Propriété de la surface appelée émissivité.

Elle compare le taux d'émission de la surface en question avec le corps noir, puisque

$0 \leq \varepsilon \leq 1$.

Le transfert de chaleur par rayonnement entre deux corps à des températures différentes séparés par du vide ou un milieu semi-transparent se produit par l'intermédiaire d'ondes électromagnétiques, est donné par la relation suivante :

$\emptyset_{échangée} = \boldsymbol{\varepsilon \sigma S (T_p^4 - T_C^4)}$ ………(12)

Remarques

L'émissivité dépend de la nature du matériau.

Un corps gris une surface pour laquelle $\alpha = \varepsilon$

2.4 Conductivité thermique

1. Conductivité thermique des solides

La conductivité thermique d'un solide ne dépend à priori que de la température. En général, λ d'un métal pur diminue avec la température tandis que λ d'un alliage métallique augmente avec la température.

$\lambda = \lambda_0 (1 + b\theta + c\theta^2)$ …… (13)

$\theta = T - T_{ref}$

λ_0 : Conductivité à la température de référence T_{ref}.

Dans le cas des variations de température minime ,la conductivité thermique d'un métal est donnée comme suit : $\lambda = \lambda_0 (1 + b\theta)$…….(14)

2. **Conductivité thermique des liquides**

La conductivité thermique des liquides dépend de la température mais ne dépend pas de la pression. Elle diminue quand la température augmente sauf pour l'eau.

3. **Conductivité thermique des gaz**

La conductivité thermique des gaz augmente avec la température mais n'est pas sensible à la pression quand celle-ci est proche de la pression atmosphérique. Dans le cas des pressions très élevées, cet effet devient très important.