

Chapitre 0 : Introduction aux transferts thermiques

1. Introduction :

La thermodynamique permet de prévoir la quantité totale d'énergie qu'un système doit échanger avec l'extérieur pour passer d'un état d'équilibre à un autre.

Le transfert de chaleur se propose de décrire quantitativement dans l'espace et dans le temps, l'évolution des grandeurs spécifiques du système, en particulier la température, entre l'état initial et final.

Le transfert de chaleur survient dès qu'il y a une différence de température entre deux corps ($T_1 > T_2$).

2. Définitions

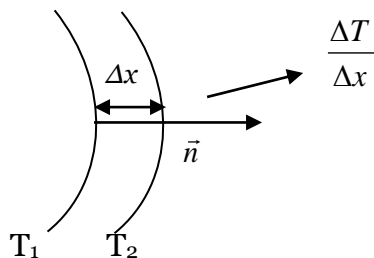
2.1 Champ de température

Les transferts de chaleur sont déterminés à partir de l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température : $T = f(x, y, z, t)$. La valeur instantanée de la température en tout point de l'espace est un scalaire appelé champ de température. Nous distinguerons deux cas :

- Champ de température indépendant du temps : le régime est dit permanent ou stationnaire.
- Champ de température dépendant du temps : le régime est dit variable ou instationnaire.

2.2 Gradient de température

Si l'on réunit tous les points de l'espace qui ont la même température, on obtient une surface dite surface isotherme. La variation de température par unité de longueur est maximale le long de la normale à la surface isotherme. Cette variation est caractérisée par le gradient de température :



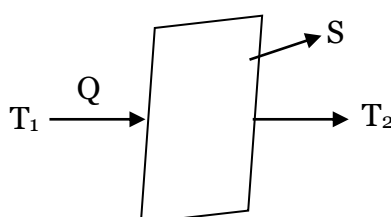
On appelle gradient cette variation de la température : de façon générale :

$$\overrightarrow{\text{grad}}(T) = \vec{\nabla}T = \frac{\partial T}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial T}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial T}{\partial z} \vec{k}$$

2.3 Flux de Chaleur :

La présence d'un gradient de température conduit au transfert de chaleur. La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité de surface est appelée densité de flux de chaleur.

$$q = \frac{1}{S} \frac{dQ}{dt} \quad (\text{W/m}^2)$$



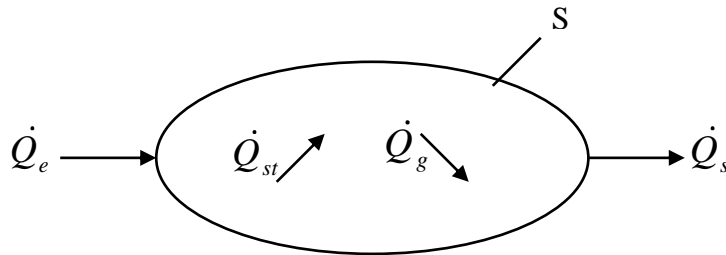
La quantité de chaleur transmise par toute la surface S par unité de temps est appelée flux de chaleur :

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt} \quad (\text{W})$$

3. Formulation d'un problème de transfert de chaleur

3.1 Bilan d'énergie

Il faut tout d'abord définir un système (S) par ses limites dans l'espace et il faut ensuite établir le bilan des différents flux de chaleur qui influent sur l'état du système et qui peuvent être :



Il y a quatre flux de chaleur principaux :

\dot{Q}_{st} : Flux de chaleur stocké.

\dot{Q}_g : Flux de chaleur généré.

\dot{Q}_e : Flux de chaleur entrant.

\dot{Q}_s : Flux de chaleur sortant.

Si on applique le premier principe au système qui décrit le bilan de conservation de l'énergie on obtient :

$$\dot{Q}_e - \dot{Q}_s + \dot{Q}_g = \dot{Q}_{st}$$

3.2 Expression des flux d'énergie

Il faut maintenant établir les expressions des différents flux d'énergie. En reportant ces expressions dans le bilan d'énergie, nous obtiendrons l'équation différentielle dont la résolution permettra de connaître l'évolution de la température en chaque point du système. Puisque il y a trois modes de transfert de chaleur il y a trois expressions pour le flux de chaleur.

3.3 Conduction

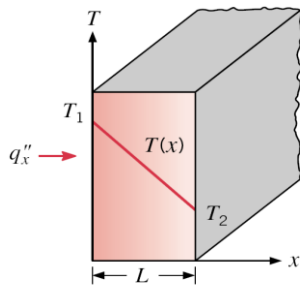
C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes :

- Transmission par les vibrations des atomes ou molécules
- Transmission par les électrons libres.

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température :

$$\vec{q} = -\lambda \vec{\nabla} T$$

λ est le coefficient de proportionnalité, c'est une propriété du matériau dépendante de sa structure interne, qui décrit le degré de transmission du flux de chaleur, dans le cas de la conduction unidimensionnelle on peut écrire:

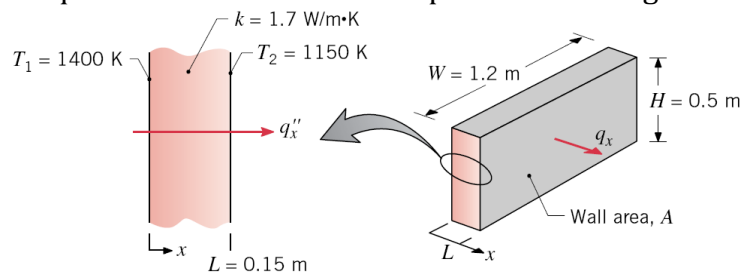


$$\dot{Q} = -\lambda S \frac{dT}{dx}$$

$$\dot{Q} = qS = -\lambda S \frac{\Delta T}{\Delta x} = -\lambda S \frac{T_2 - T_1}{L}$$

Exemple

Le mur d'une chaudière industrielle est construit de brique réfractaire de 0.15 m d'épaisseur. Les mesures effectuées pendant le fonctionnement en régime permanent indiquent des températures de 1400 K et 1150 K sur les surfaces intérieures et extérieures, respectivement. Quel est le flux de chaleur traversant le mur qui est de 0.5 m de hauteur par 1.2 m de largeur ?



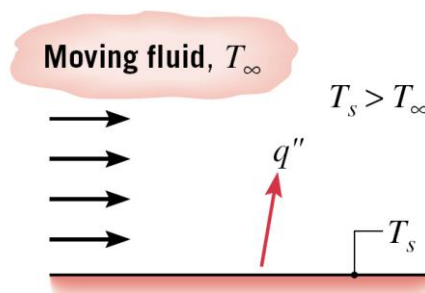
3.4 Convection

C'est le transfert de chaleur dans un fluide ou entre une surface solide et un fluide à températures différentes, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide. Le mode de transfert de chaleur de convection est composé de deux mécanismes. En plus du transfert d'énergie dû au mouvement moléculaire de diffusion (conduction), de l'énergie est également transférée par le mouvement du fluide (advection).

Indépendamment de la nature particulière du procédé de transfert de chaleur de convection, la formule de flux de chaleur, connue sous le nom de loi de Newton est de la forme :

$$\dot{Q} = hS(T_p - T_\infty)$$

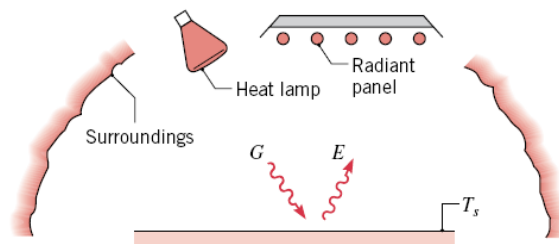
La valeur de h le coefficient de transfert de chaleur par convection est fonction de la nature du fluide, de sa température, de sa vitesse et des caractéristiques géométriques de la surface de contact solide/fluide.



3.5 Rayonnement

Le troisième mode du transfert de chaleur est le rayonnement thermique. Toutes les surfaces de la température finie émettent l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques.

C'est un transfert de chaleur par ondes électromagnétique entre deux surfaces à températures différentes (même dans le vide). L'expression du flux de chaleur est la suivante : $\dot{Q} = \sigma S (T_1^4 - T_2^4)$
 $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ la constante de Stephan.



3.6 Stockage d'énergie

Le stockage d'énergie dans un corps correspond à une augmentation de son énergie interne au cours du temps d'où (à pression constante et en l'absence de changement d'état) :

$$\dot{Q}_{st} = \rho c V \frac{\partial T}{\partial t}$$

ρ : Masse volumique , V : Volume , c : Chaleur massique

3.7 Génération d'énergie

Elle intervient lorsqu'une autre forme d'énergie (chimique, électrique, mécanique, nucléaire) est convertie en énergie thermique. Nous pouvons l'écrire sous la forme : $\dot{Q}_g = \dot{q}V$

\dot{q} : Densité volumique d'énergie générée.