

## Chapitre 3 : Transfert par convection

Voici les points essentiels à retenir :

1) 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, ventilateur ...). 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.

2) Le flux de chaleur transmis par convection (forcée ou naturelle) entre une paroi solide à la température  $T_S$  et un fluide à la température  $T_F$  est donnée par la loi de Newton :

$$\Phi = h S (T_S - T_F)$$

Où :

- $\Phi$  : Flux échangé entre la paroi solide et le fluide en W.
- $h$  : Coefficient d'échange superficiel (Coefficient de transfert thermique surfacique) en  $W.m^{-2}.K^{-1}$ .
- $S$  : Surface d'échange paroi solide/fluide en  $m^2$ .

3) Convection forcée :

La température de la paroi solide  $T_S$  est différente de la température du fluide  $T_F$  ; il existe une couche limite de très faible épaisseur  $e$ , adjacente à la paroi dans laquelle le fluide est pratiquement immobile et où le transfert de chaleur entre ce fluide et la paroi solide se fait par conduction. L'épaisseur de la couche limite influe sur la valeur de  $h$  car  $h = \lambda/e$ . ( $\lambda$  sera défini plus bas). Dans une conduite cylindrique de diamètre  $D$ , le coefficient d'échange superficiel  $h$  dépend de :

- $V_m$  : Vitesse moyenne du fluide en m/s.
- $\rho$  : Masse volumique du fluide en  $kg/m^3$ .
- $C_p$  : Chaleur spécifique du fluide en  $J.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$
- $\mu$  : Viscosité dynamique du fluide en Pa.s (poiseuille, Pl)
- $\lambda$  : Conductivité thermique du fluide en  $W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$
- $D$  : Diamètre intérieur de la conduite en m.
- $x$  : Abscisse en m.

Remarque :  $h$  ne dépend pas de la différence ( $T_S - T_F$ ).

A partir du théorème de Vaschy-Buckingham, on définit 4 nombres adimensionnels (sans dimension) :

- Nombre de Nusselt

$$N_u = \frac{hD}{\lambda}$$

Il caractérise l'échange thermique entre le fluide et la paroi.

- Nombre de Reynolds

$$R_e = \frac{\rho V_m D}{\mu}$$

Il caractérise le régime d'écoulement ; ainsi pour un écoulement d'eau dans une conduite cylindrique, on a :

$R_e < 2000$  : écoulement laminaire

$R_e > 3000$  : écoulement turbulent

Pour un écoulement d'eau dans un tube de 4 mm de diamètre et 15 m de long, à des vitesses autour de 0.5 m/s, l'expérience montre que  $R_e = 2040$ . Il est difficile de réaliser des écoulements dont la vitesse et la viscosité sont suffisamment bien contrôlés pour espérer observer avec précision la transition entre les deux types d'écoulement.

- Nombre de Prandtl

$$P_r = \frac{\mu C_p}{\lambda}$$

Il caractérise les propriétés thermiques du fluide.

- Abscisse réduite

$$\frac{x}{D}$$

Considérons à titre d'exemple un écoulement de fluide dans un tube de longueur  $L$  et de diamètre intérieur  $D$  tels que :

$$\frac{L}{D} > 60 \quad \text{et} \quad 10000 < R_e < 120000$$

- Pour tous les fluides :

$$N_u = 0.023 R_e^{0.8} P_r^{0.33}$$

Cette formule est dite de Colburn.

- Pour un gaz :

$$N_u = 0.02 R_e \quad \text{et} \quad P_r \sim 0.75$$

Remarque : il existe d'autres formules pour d'autres configurations et régimes d'écoulement.

#### 4) Convection naturelle :

Dans ce type de transfert, la couche limite est plus épaisse que dans le cas de la convection forcée, de l'ordre de quelques millimètres, donc  $h$  plus petit. La grandeur qui caractérise ce mode de transfert est le nombre de Grashof. Ce nombre est à la convection naturelle ce que le nombre de Reynolds est à la convection forcée. Il est donné par :

$$Gr = \frac{L^3 \rho^2 g \beta \Delta T}{\mu^2}$$

Où :

- $L$  : Dimension linéaire caractéristique de la surface d'échange (côté d'un carré, diamètre du tube ...) exprimée en m.
- $\beta$  : Coefficient de dilatation du fluide en  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Pour l'air,  $\beta = 1/T$ .
- $\Delta T$  : Ecart de température entre la paroi solide et le fluide en  $^{\circ}\text{C}$ .
- $g$  : Accélération de la pesanteur ( $= 9.81 \text{ m/s}^2$ ).
- $\rho$  : Masse volumique du fluide en  $\text{kg/m}^3$ .
- $\mu$  : Viscosité dynamique du fluide en  $\text{Pa}\cdot\text{s}$ .

Si  $Gr > 10^9$ , on a un régime turbulent,  $Gr = 10^9$ , c'est l'état critique et pour  $Gr < 10^9$ , le régime est laminaire.

Bon courage  
Prof. S. KHENE