

II-Généralités sur le transfert de chaleur

II-1 Le transfert par convection

Définitions

Lorsque le transfert de chaleur s'accompagne d'un transfert de masse, il est appelé transfert par convection. Ce mode d'échange de chaleur existe au sein des milieux fluides ou lorsque un fluide circule autour d'un solide. Le transfert de chaleur par convection permet de déterminer les échanges de chaleur se produisant entre un fluide et une paroi.

La quantité de chaleur échangée par unité de temps dépend de plusieurs paramètres:

- la différence de température entre la paroi et le fluide.
- la vitesse du fluide.
- la capacité thermique massique du fluide.
- la surface d'échange.
- l'état de surface du solide.
- sa dimension...etc.

Les différents types de convection

Selon le mécanisme qui génère le mouvement du fluide, on distingue :

❖ La convection naturelle ou libre

Le fluide est mis en mouvement sous le seul effet :

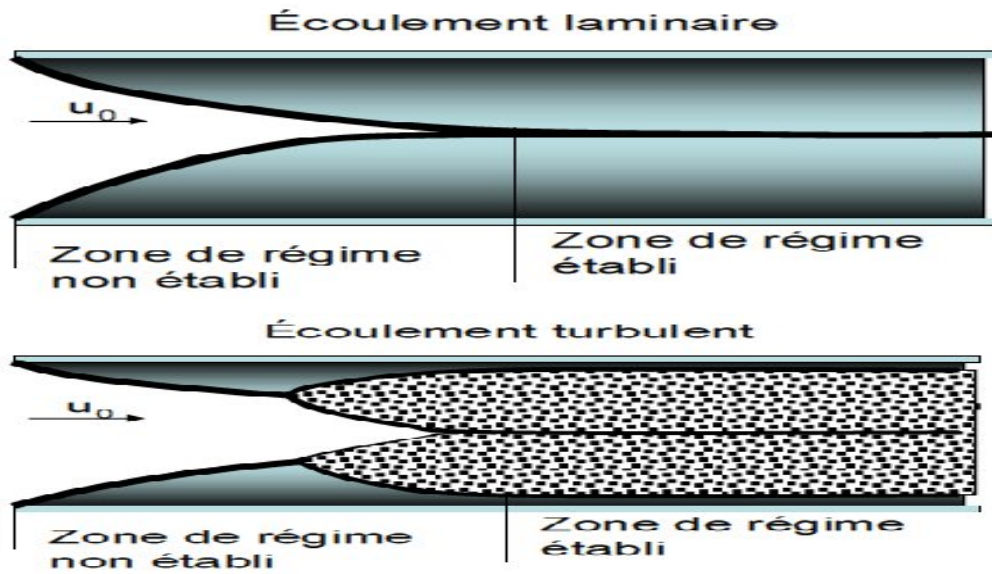
- des différences de masses volumiques résultant des différences de températures sur les frontières.
- d'un champ de forces extérieures (la pesanteur).

❖ La convection forcée

Le mouvement du fluide est induit par une cause indépendante des différences de température (pompe, ventilateur...).

Compte tenu du lien entre le transfert de masse et le transfert de chaleur, il est nécessaire de considérer la nature du régime d'écoulement. On distingue :

- Ecoulement en régime turbulent.
- Ecoulement en régime laminaire.



... é ('é) [7]

La loi de Newton

La loi de Newton donne l'expression de la quantité échangée entre la surface d'un solide à la température et le fluide à la température .

Quelque soit le type de convection (libre ou forcée) et quelque soit le régime d'écoulement du fluide (laminaire ou turbulent), le flux de chaleur transmis est donné par la relation dite loi de Newton :

$$P = h \cdot S \cdot (T_s - T_f) \quad (1)$$

Où:

- P : La puissance transmise... [W]
- h : Coefficient d'échange... [W / m² .°]
- $T_s - T_f$: Différence température entre le corps et le fluide... [°]
- S : Surface d'échange... [m²]

Coefficient d'échange par convection

L'étude du transfert de chaleur par convection permet de déterminer les échanges de chaleur se produisant entre un fluide et une paroi.

La quantité de chaleur qui traverse une surface pendant l'intervalle de temps , peut s'écrire:

$$Q = h \cdot S \cdot (T_{ext} - T_{int}) \quad [7]$$

h : Le coefficient d'échange par convection... [/ (.°)]

S : La surface d'échange par convection... []

Q : La quantité de chaleur... []

$Q / \Delta t$: La quantité de chaleur par unité de temps... []

Le problème majeur à résoudre avant le calcul du flux de chaleur consiste à déterminer h qui dépend de nombreux paramètres :

- caractéristiques du fluide.
- nature de l'écoulement.
- la température de l'air.
- la forme de la surface d'échange.

❖ **Le nombre de Prandtl**

Caractérise la distribution des vitesses par rapport à la distribution de la température :

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} \quad [7]$$

❖ **Le nombre de Nusselt**

Il caractérise l'importance de la convection par rapport à la conduction : C'est le rapport de la quantité de chaleur échangée par convection $h \cdot S \cdot \Delta T$ à une quantité de chaleur échangée par conduction $\lambda \cdot S \cdot \Delta T / d$:

$$Nu = \frac{h \cdot d}{\lambda} \quad [7]$$

❖ **Le nombre de Reynolds**

Le régime d'écoulement d'un fluide peut être laminaire ou turbulent. Le passage d'un régime à un autre est caractérisé par le nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \quad [7]$$

$Re = 2200$: Une valeur critique.

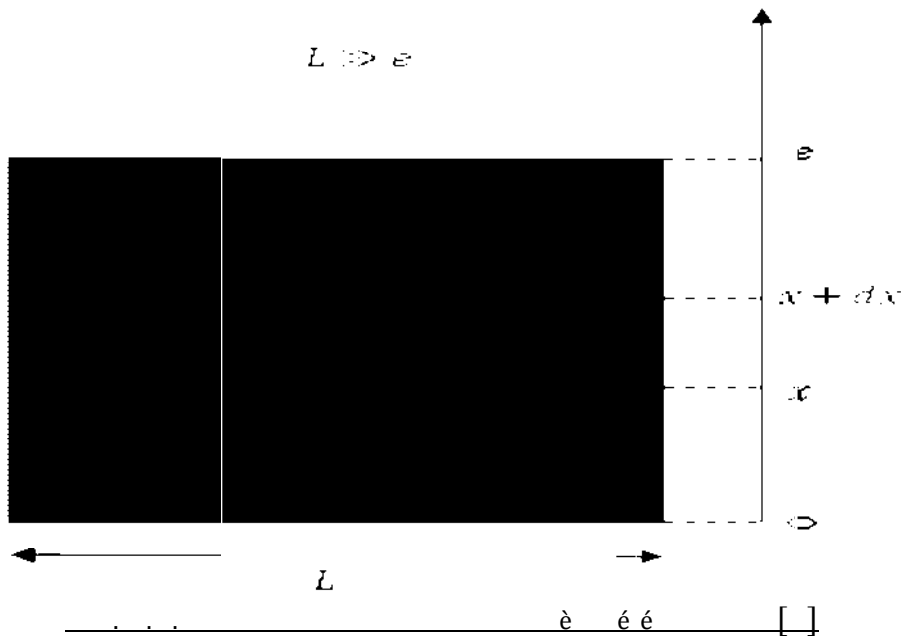
$Re < 2200$: Le régime est dit laminaire.

$Re > 2200$: Le régime est dit turbulent.

II-2 Le transport de chaleur par conduction

1^{ère} loi de conduction de la chaleur

Dans sa forme monodimensionnelle, elle décrit le transfert de chaleur unidirectionnel au travers d'un mur plan:



Considérons un système d'épaisseur L dans la direction x et de section d'aire S normalement à la direction x . Le bilan d'énergie sur ce système s'écrit [8]:

$$\dot{Q}_x + \dot{Q}_{\text{gen}} = \dot{Q}_{x+dx} + \dot{Q}_{\text{loss}} \quad (6)[8]$$

Avec: $\dot{Q}_x = -k S \frac{dT}{dx}$ et $\dot{Q}_{x+dx} = -k S \frac{dT}{dx} + \frac{d}{dt}(\rho S dx)$
 $\dot{Q}_{\text{gen}} = \dot{q} S$ et $\dot{Q}_{\text{loss}} = h S (T - T_{\text{ext}})$

En reportant dans le bilan d'énergie et en divisant par $S dx$, nous obtenons :

$$-k \frac{dT}{dx} + \dot{q} = -k \frac{dT}{dx} + \rho c_p \frac{dT}{dt} + h(T - T_{\text{ext}}) \quad (7)$$

Soit :

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \dot{q} - h(T - T_{\text{ext}})$$

Et dans le cas tridimensionnel, nous obtenons l'équation de la chaleur dans le cas le plus général :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial T}{\partial z} = \dots \dots \dots (-) [8]$$

II-3 Équation générale du transport de chaleur par conduction

❖ **Loi de conservation de l'énergie**

$$\dots = \dots \dots \dots (-) [8]$$

❖ **Equation générale**

$$\dots = \dots (-) \dots \dots \dots (-) [8]$$

: La capacité thermique volumique.

II-4 La diffusion thermique

Equation de la chaleur ou de la diffusion thermique (sans ou avec sources) :

Sans sources

$$= (\ /) \dots \dots \dots (-) [1]$$

Avec sources

$$+ (1/) (,) = (\ /) \dots \dots \dots (-) [2]$$

Où : = /

: La génération de puissance thermique [/].

: La diffusivité thermique [/].