

## I.1. NOTIONS SUR LA CONVECTION

### I.2.1. Définition

Le transfert de chaleur est un processus d'une grande importance dans le domaine de l'industrie et des technologies. Bien qu'il manifeste sous diverses formes (rayonnement, conduction et convection), cette dernière est la plus visée dans certains domaines bien spécifiés tels que le refroidissement des processeurs et des composants électroniques, les radiateurs et les échangeurs de chaleur, ... etc.

La convection est une mode de transport d'énergie par l'action combinée de la conduction, de l'accumulation de l'énergie et du mouvement du milieu. La convection est le mécanisme le plus important de transfert d'énergie entre une surface solide et un liquide ou un gaz. Le transfert d'énergie par convection d'une surface dont la température est supérieure à celle du fluide qui l'entoure s'effectue en plusieurs étapes.

D'abord la chaleur s'écoule par conduction de la surface aux particules fluides adjacentes, L'énergie ainsi transmise sert à augmenter la température et l'énergie interne de ces particules.

Ensuite ces dernières vont se mélanger avec d'autres particules situées dans une région à basse température et transférer une partie de leur énergie, celle-ci est à présent emmagasinée dans les particules fluides et elle est transportée sous l'effet de leur mouvement. [2]

### I.2.2. Types de convection

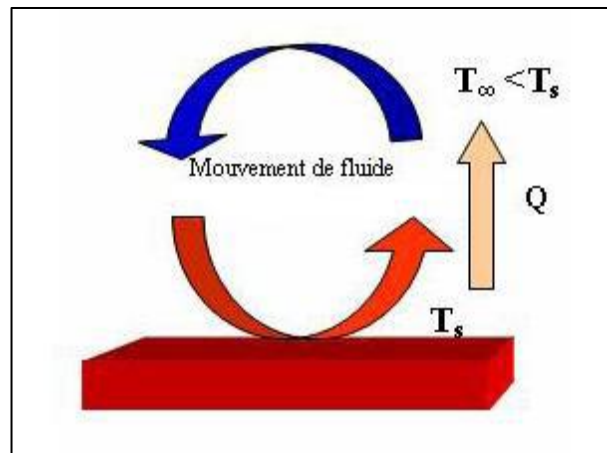
La transmission de chaleur par convection est désignée, selon le mode d'écoulement du fluide, par convection libre et convection forcée. Lorsqu'il se produit au sein du fluide des courants dus simplement. [2]

**Convection forcée** dans laquelle le mouvement de fluide est provoqué par l'action des forces extérieures (par exemple pompe, ventilateur...etc.), qui lui imprime des vitesses de déplacement assez importantes.

En conséquence, l'intensité du transfert thermique par convection forcée sera en liaison directe avec le régime de mouvement du fluide.

**Convection naturelle** dans laquelle le mouvement du fluide est produit par les différences de densité entre les particules chaudes et celles froides existant dans un fluide, situé dans un champ de forces massiques.

Cette différence de densité, qui est la plupart du temps provoquée par une différence de température, avec la force de gravité, crée une force de flottabilité, qui par conséquent crée une différence de quantité de mouvement (Figure.I.1).



**FIGURE.I.1: Schéma de transfert de chaleur par convection naturelle**

Si les deux causes existent simultanément, sans que l'une soit négligeable par rapport à l'autre, la convection est dite mixte. [1]

Et on peut déterminer le type de convection d'après cette relation :  $\frac{Gr}{Re^2}$  (nombre de Richardson)

Si :  $\frac{Gr}{Re^2} \ll 1$  Convection forcée

$\frac{Gr}{Re^2} \gg 1$  Convection naturelle.

$\frac{Gr}{Re^2} \approx 1$  Convection mixte.

### I.2.3. Convection naturelle

#### I.2.3.1. Définition

L'équilibre statique d'un fluide dans le champ de pesanteur est une situation bien moins anodine qu'il n'y paraît. Pour que cet état soit possible, les forces volumiques telles que le poids, doivent être compensées exactement par les gradients de pression, lesquels sont eux même contraints par la condition de conservation de la masse.

Il suffit de modifier localement la densité du fluide, pour briser ce fragile équilibre. Le mouvement qui résulte de cette variation de densité est appelé «convection naturelle» ou «convection libre».

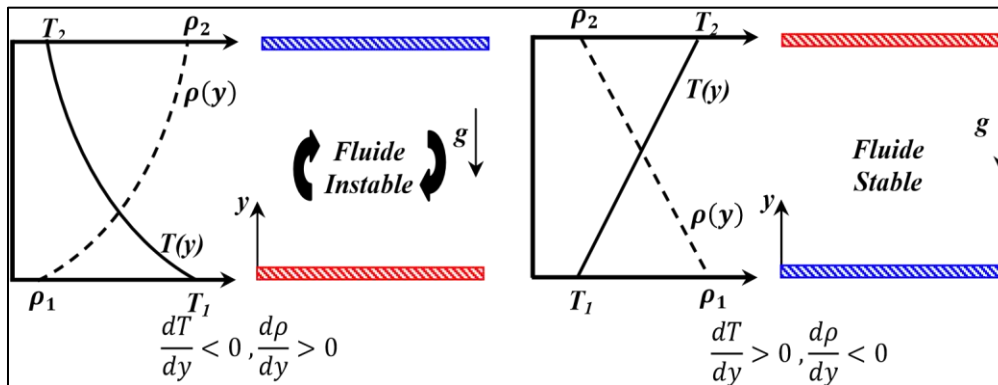


FIGURE.I.2 : Fluide instable (a) et stable (b) entre deux murs horizontaux chauffés différemment.

Les problèmes océanographiques et atmosphériques tels que les effets de serres, les changements extrêmes de climat, ainsi que les problèmes technologiques tels que les équipements électriques et les réacteurs nucléaires, les appareils ménagers tels que des réfrigérateurs, la conversion économique de l'eau saline à l'eau fraîche et les échangeurs de chaleur sont tous des problèmes qui ont donné un intérêt particulier à cette science. [4]

### I.2.3.2. Domaines d'applications de la convection naturelle

Les applications de transfert thermique sont variées, dans lesquelles la convection naturelle est le phénomène le plus dominant, la meilleure compréhension de ce phénomène augmente le nombre d'applications et mène à un certain nombre de conceptions industrielles et environnementales sophistiquées. Toutefois, les coûts de fonctionnement sont importantes, les petites améliorations d'efficacité sont essentielles et peuvent jouer un grand rôle dans la consommation d'énergie.

En outre, les problèmes océanographiques et atmosphériques tels que les effets de serre, les changements extrêmes de climat, ainsi que les problèmes technologiques, à savoir les équipements électriques et les réacteurs nucléaires, les appareils ménagers, les réfrigérateurs et les échangeurs de chaleur sont tous des problèmes, qui ont donné un intérêt particulier à cette science. [1]

### I.2.3.3. Loi de la convection thermique

La convection est un transfert de chaleur dans un milieu matériel avec mouvement de matière. Ce mode de transfert ne concerne donc que les fluides ou les échanges entre un solide et un fluide.

Dans le cas d'un transfert entre un solide et un fluide, la puissance transférée par convection est donnée par la relation :

$$\phi = h.s(T_p - T_f) \quad (I.1)$$

$\phi$  : Le flux de chaleur.

$T_p$ : La température de la paroi du solide.

$T_f$ : La température du fluide loin de la paroi.

$h$ : le coefficient d'échange de surface.

On distingue la convection libre (ou naturelle) dans laquelle les mouvements du fluide sont dus aux variations de masse volumique et la convection forcée dans laquelle les mouvements du fluide sont imposés par un moyen extérieur (pompe ou ventilateur). La détermination de  $h$  fait intervenir des relations de corrélations entre des nombres sans dimension, qui sont déterminés à partir des propriétés thermo-physiques du fluide. [4]

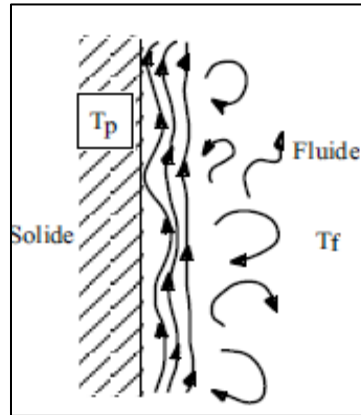


FIGURE.1.3: Transfert de chaleur par convection

## I.2.4. Les nombres adimensionnels

### I.2.4.1. Nombre de Prandtl

Le nombre de Prandtl est proportionnel au rapport entre le diffusivité de quantité de mouvement et la diffusivité thermique. Il caractérise l'importance relative des effets thermiques et visqueux.

$$\text{Il peut être exprimé comme : } Pr = \frac{\mu C_p}{\lambda} \quad (I.2)$$

Ou:  $C_p$  : Chaleur spécifique ( $k^{-1}$ ).

$\lambda$  : La conductivité thermique ( $W/m.k$ ).

### I.2.4.2. Nombre de Nusselt

Le nombre de Nusselt est proportionnel au rapport entre le transfert thermique total et le transfert par conduction.

$$\text{Il peut être exprimé comme : } Nu = \frac{hL}{\lambda} \quad (\text{I.3})$$

Où h : Le coefficient d'échange thermique  $[W.m^{-2}.K^{-1}]$

#### I.2.4.3. Nombre de Grashof

Le nombre de Grashof est proportionnel au rapport entre les forces de gravité par les forces visqueuse.

Il peut être exprimé comme :

$$\frac{F_g}{F_\mu} = \frac{\text{les forces de gravité}}{\text{les forces de viscosité}}$$

$$\frac{F_g}{F_\mu} = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L_c^3 \cdot \rho^2}{\mu^2} \quad (\text{I.4})$$

Où :  $\mu$  : la viscosité dynamique  $(kg.m^{-1} \cdot s^{-1})$ .

$g$  : L'accélération de la pesanteur  $[m.s^{-2}]$ .

$\Delta T$  : La différence de température  $[K]$ .

$\beta$ : facteur de dilatation volumique du fluide.

#### I.2.4.4. Nombre de Rayleigh

Le nombre de Rayleigh est proportionnel entre l'importance relative de la poussée d'Archimède et le produit de la trainée visqueuse par le taux de diffusion thermique. Il peut être exprimé comme :

$$Ra = \frac{g}{\nu \alpha} (T_s - T_\infty) L_c^3 = Gr \cdot Pr \quad (\text{I.5})$$

Où :  $T_s$  : La température de la paroi [ K ]

$T_\infty$  : La température du fluide loin de la paroi [ K ].

$\nu$  : La viscosité cinématique =  $\frac{\mu}{\rho} [m^2.s^{-1}]$

$\alpha$  : La diffusivité thermique =  $\frac{\lambda}{\rho C_p} [m^2.s^{-1}]$ .

$\rho$  : Masse volumique (  $kg / m^3$  )

$C_p$  : Chaleur massique (  $KJ / Kg.K$  ) .

$\rho C$  : Chaleur volumique (  $KJ / m^3.K$  ) .

## I. 2. LA CONVECTION DANS LES ENCEINTES

L'étude de la convection naturelle dans les enceintes a fait l'objet d'un très grand nombre de travaux tant théoriques qu'expérimentaux. L'intérêt de telles études réside dans son implication dans de nombreuses applications industrielles telles que le refroidissement des composants électroniques, la thermique des bâtiments, l'industrie métallurgique, la croissance des cristaux pour l'industrie des semi-conducteurs, et le cas d'une génération de chaleur accidentelle due à un incendie dans un bâtiment pour réacteur nucléaire....etc. [3]

### I.3.1.Enceinte avec gradient vertical de température :

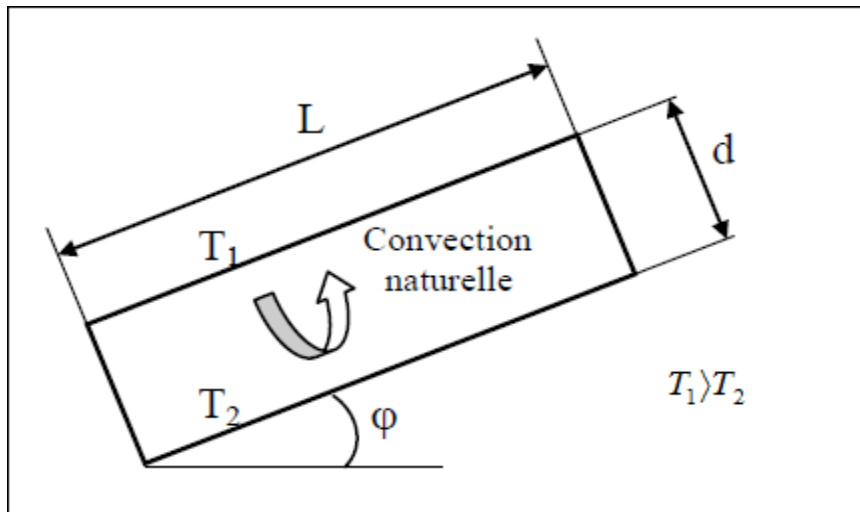
Quand on impose un gradient de température verticale du fond au sommet de la cavité, on a ce qu'on appelle la convection de Rayleigh- Bénard. Elle a une longue et riche histoire elle a été étudiée durant des décennies aussi bien pour ses différentes applications industrielles que du point de vue recherche fondamentale. Le mécanisme de base de cette convection est comme suit. Les parois horizontales de la cavité étant respectivement chauffées et refroidies, par suite de différence de température, la chaleur s'écoule entre le fluide et le corps et provoque une variation de densité des couches fluides au voisinage de la surface. La différence de densité crée un écoulement descendant pour le fluide le plus lourd et un écoulement ascendant pour le fluide le plus léger. Quand le gradient de température est vertical avec paroi supérieure chaude et paroi inférieure froide,

On n’aura pas de mouvement et par conséquent pas de convection, le fluide est thermiquement stratifié et on a le cas stable.

**I.3.2.Enceinte avec gradient horizontal de température :**

Dans cette configuration, les parois verticales sont chauffées et refroidie, alors que les parois horizontales sont adiabatiques. L’écoulement prend la forme d’un vortex avec le fluide ascendant le long de la paroi chaude et descendant suivant la paroi froide.

**I.4.CORRELATIONS POUR NOMBRE DE NUSSLET DANS UNE ENCEINTE RECTANGULAIRE INCLINEE**



**FIGURE.I.4 : Enceinte rectangulaire inclinée.**

Si  $0 < \varphi < \varphi^* : Ar > 10$

$$Nu = 1 + 1,44 \left( 1 - \frac{1708}{Gr Pr \cos \varphi} \right) \left[ 1 - \frac{1708 (\sin(1,8\varphi))^{1,6}}{Gr Pr \cos \varphi} \right] + \left[ \left( \frac{Gr Pr \cos \varphi}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] \quad (I.6) \quad [13]$$

$Ar \leq 10$

$$Nu = Nu(0^\circ) \left[ \frac{Nu(90^\circ)}{Nu(0^\circ)} \right]^{\frac{\varphi}{\varphi^*}} (\sin \varphi^*)^{\frac{1}{4} - \frac{\varphi}{\varphi^*}} \quad (I.7)$$



**Si**  $\varphi^* \langle \varphi \langle 90^\circ$

$$Nu = (\sin \varphi)^{1/4} Nu(90) \quad (\text{I.8})$$

**Si**  $90^\circ \langle \varphi \langle 180^\circ$

$$Nu = 1 + [Nu(90^\circ) - 1] \sin \varphi \quad (\text{I.9})$$

**Avec**  $\varphi^* = \tan^{-1}(4800Pr)$  (I.10)

$$Nu = \frac{\lambda_e}{\lambda}$$

$\lambda_e$  : Conductivité thermique équivalente [ W/K.m ]

$\lambda$  : Conductivité thermique [ W/K.m ]

Ar : rapport d'aspect =  $\frac{L}{d}$  . [12]

## I.5.CONCLUSION

La convection naturelle dans les enceintes a fait l'objet de diverses investigations, à cause de son importante application dans les différentes situations industrielles.