

II. Théorie du transfert de chaleur :

1. Définition :

La chaleur est une forme particulière de l'énergie au niveau des molécules constituant un corps, elle se traduit par un état d'agitation plus ou moins intense selon que le corps se trouve à une température plus ou moins élevée.

Les mécanismes de transfert de chaleur sont complexes, on se contentera de donner ici quelques idées simples à propos des trois modes de transmission habituellement différenciés bien qu'ils soient très imbriqués dans la plupart des cas. [8]

2. Différents modes de transfert de chaleur :

La théorie des échanges thermiques a pour objet l'étude de la propagation de la chaleur. Cette propagation se présente sous trois formes fondamentales :

- La convection.
- La conduction.
- Le rayonnement.

2.1. Transfert par Conduction (ou Conductibilité) :

La conduction thermique c'est le transfert moléculaire de la chaleur dans un milieu continu statut (dans un corps ou dans plusieurs corps voisins et non réfléchissants). Ce processus apparaît dans un milieu à distribution irrégulière de la température. La chaleur est alors transmise par contact immédiat des particules voisines de différentes températures, ce qui définit l'échange entre les molécules, les atomes et les électrons libres.

Ce mode de transmission caractérise essentiellement les transferts de chaleur dans les solides où entre corps solides contigus.

Le transfert de chaleur par conduction caractérise tous les transferts de chaleur qui s'effectuent dans les parois séparant deux corps à des températures différentes. [9]

2.2. Transfert par Convection :

La convection caractérise la propagation et le transport de la chaleur par des molécules en mouvement qui viennent se réchauffer au contact d'un chaud et véhiculent cette énergie calorifique pour la céder à un corps froid.

Ce mode de transfert implique un mouvement ne concerne que les fluides.

Deux types de convection sont généralement distingués :

- La convection naturelle dans laquelle le mouvement résulte de la variation de la masse volumique du fluide avec la température ; cette variation crée un champ de forces gravitationnelles qui conditionne les déplacements des particules du fluide.
- La convection forcée dans laquelle le mouvement est provoquée par un procédé mécanique indépendant des phénomènes thermiques; c'est donc un gradient de pression extérieur qui provoque les déplacements des particules du fluide.

L'étude de la transmission de chaleur par convection est donc étroitement liée à celle de l'écoulement des fluides. [10]

2.3. Transfert par Rayonnement thermique (ou radiation) :

Dans la transmission de chaleur par rayonnement, le transfert thermique s'effectue par des vibrations électromagnétiques qui se propagent en ligne droite sans aucun support de matière. Tout corps même placé dans le vide émet de l'énergie qui se transmet sous forme d'onde et tout corps placé sur son trajet absorbe toute ou une partie de cette énergie.

Les trois formes de transfert sont généralement présentes simultanément, et très souvent la convection précède la conduction

Dans les divers appareils et matériaux le régime de propagation de la chaleur peut être stationnaire ou non stationnaire. En industrie, les lois de la transmission de chaleur sont largement utilisées dans le calcul des quantités de chaleur échangées et dans le dimensionnement des appareils fonctionnant suivant ce principe. C'est le cas par exemple des condenseurs, des aéroréfrigérants, des échangeurs et des fours. [10,11]

3. Lois Fondamentales de transfert de chaleur :

On considère seulement le transfert en régime permanent pour lequel les paramètres sont constants dans le temps :

3.1. Loi générale :

La loi générale des transferts se traduit par :

Flux = potentiel / résistance.

La loi de transfert s'écrit :

$$\Phi = Q / F = \Delta\theta / R \dots\dots\dots(\text{VI-3-1}).$$

Avec :

- Φ : Taux de transmission (**Kcal/h.m²**).
- Q : Débit de chaleur (**Kcal/h**).
- F : Surface d'échange (**m²**).
- $\Delta\theta$: Potentiel de température (**°C**).
- R : Résistance au transfert (**h.m².°C/Kcal**).

Le reflux de chaleur étant le débit de chaleur par unité de surface d'échange est inversement proportionnel à la résistance au transfert qui reste à définir selon le mode de transfert et les caractéristiques du système considéré. [11,12]

3.2. La loi de FOURIER :

La loi de Fourier traduit la relation existant, en chaque point d'un corps, entre le flux thermique et le gradient de température. Cette expression, dans la mesure où la position d'un point peut être caractérisée par une seule dimension (paroi plane, cylindrique ou sphérique par exemple), s'écrit pour chaque mode de transfert comme suite : [9,13]

3.2.1. Conduction :

$$dQ = -\lambda . (dt / dx) . dF . d\tau \dots\dots\dots (VI-3-2-1).$$

Avec :

- dQ : Quantité de chaleur transmise (**J/h**).
- λ : Conductivité thermique (**J/m.h.°C**).
- (dt/dx) : Gradient de température.
- dF : Temps (**h**).
- $d\tau$: Surface (**m²**).

3.2.2. Convection :

La quantité de chaleur transmise par convection « Q » est déterminée par l'équation de Newton-Richon : [15]

$$Q = \alpha . \Delta t . F . \dots\dots\dots (VI-3-2-2).$$

Avec :

- **Q** : Quantité de chaleur transmise par convection (W).
- **α** : Coefficient d'échange de chaleur (W/m².°C).
- **Δt** : différence de température entre le fluide et la paroi (°C).
- **F** : Surface d'échange (m²).

Préalablement, on détermine le régime d'écoulement à l'aide du Reynolds, ensuite, on calcule le Nusselt après avoir calculé le Grashoff et le Prandtl.

Re < 2300 le régime est laminaire.

2300 < Re < 5000 le régime est transitoire.

Re > 5000 le régime est turbulent.

3.2.3. Rayonnement :

La transmission dépend des propriétés optiques, la température et la longueur d'onde

L'énergie rayonnante en contact avec un corps quelconque, se divise en trois parties ; la première se réfléchit, la seconde s'absorbe et la dernière absorbe. (Voir figure.II.1.) [9,10,16]

$$Q_T = Q_A + Q_R + Q_{Tr} \dots \dots \dots (VI-3-2-3).$$

Avec :

- **Q_T** : L'énergie totale.
- **Q_A** : L'énergie absorbe.
- **Q_R** : L'énergie réfléchi.
- **Q_{Tr}** : L'énergie absorbe.

Il existe quatre lois principales qui décrivent le transfert de chaleurs par rayonnement on peut citer l'une d'elle par exemple : loi de STEPHANE-BOLTZMAN.

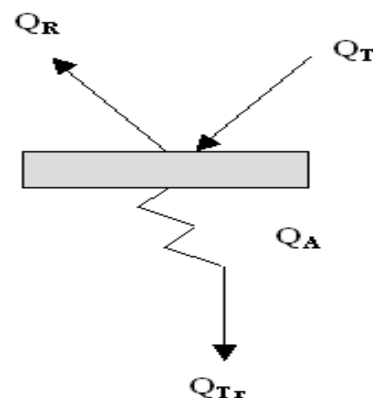


Figure.II.1. la répartition de l'énergie rayonnée.

3.2.4. Loi de STEPHANE-BOLTZMAN : [17]

Le pouvoir d'émission d'un corps est proportionnel à la quatrième puissance de la température :

$$Q = \alpha_N \cdot S \cdot F \cdot T^4 \dots\dots\dots(\text{VI-3-2-4})$$

$$Q = E_0 \cdot C_0 \cdot F \cdot T^4 \dots\dots\dots(\text{VI-3-2-5})$$

Avec:

- α_N : Facteur d'absorption.
- S : Constante de BOLTZMANN égale à $4,96.10^{-8} \text{ Kcal/hm}^2\text{K}^4$.
- F : Surface (m^2).
- T : Température (K°).
- E_0 : Constante de STEPHANE-BOLTZMANN égale à $5,67 \text{ W/m}^2\text{K}^4$.
- C_0 : Pouvoir d'émission d'un corps noir absolu (W/m^2). [11]

4. Classification des appareils de transfert de chaleur :

Les procédés dans l'industrie chimique exigent que les fluides soient réchauffés au cours de diverses opérations technologiques.

Les appareils dans lesquels s'effectue l'échange de chaleur entre un fluide froid sont appelés (échangeurs de chaleurs).

D'après le contact entre les deux fluides on distingue deux types d'échangeurs de chaleur :

1- Echangeurs par mélange (contact direct).

2-Echangeurs par surface (contact indirect à travers une paroi métallique)

Dans les échangeurs par surface, l'échange de chaleur se fait à travers une paroi qui sépare les fluides à températures différentes. Or dans les échangeurs par mélange le transfert de chaleur s'effectue par le contact direct des deux fluides .Ce mode de transfert est appliqué lorsque le contact direct ne produit aucune complication (réaction chimique, décomposition etc.).

D'après la configuration de la surface d'échange on distingue :

1. Echangeurs tubulaires à tubes rectilignes ou à tube en (U).
2. Echangeurs tubulaires à tubes à ailettes.
3. Echangeurs à serpentins.
4. Echangeurs à hélices.
5. Echangeurs à plaques.

Dans l'industrie pétrolière et pétrochimique les échangeurs à surface sont les plus répandus et principalement les trois premiers types d'échangeurs. [16]

Les échangeurs tubulaires peuvent être subdivisés également en groupes suivants : [17]

- ❑ Echangeurs à double – tube
- ❑ Echangeurs à faisceau et calendrier
- ❑ Echangeurs à ruissellement.

D'après la destination on distingue trois types d'échangeurs correspondant aux fonctions très spécifiques :

- ❑ Les échangeurs et réfrigérants dans lesquels ne se produit aucun changement d'état physique des fluides.
- ❑ Les condenseurs qui permettent de condenser une vapeur soit à l'aide d'un produit froid, soit à l'aide d'un auxiliaire (eau, air, fluide, frigorigène ...etc.)
- ❑ Les rebouilleurs qui assurent une vaporisation partielle d'un liquide grâce à la circulation d'un produit chaud ou d'un fluide auxiliaire (vapeur d'eau).

Suivant le sens d'écoulement des fluides chaud et froid, les échangeurs de chaleur peuvent fonctionner : [18]

- ❑ A courants parallèles (fluides circulent dans le même sens).
- ❑ A contre courants (les fluides circulent en sens contraire)
- ❑ A courant mixtes (alternativement à courants)