

## Chapitre I: Généralités sur les échangeurs de chaleur

### I.1. Définition :

Un échangeur de chaleur est un appareil destiné à transmettre la chaleur d'un fluide à un autre. Le principe le plus général consiste à faire circuler deux fluides parallèlement séparés par une surface chauffée qui est le plus souvent une paroi métallique ce qui favorise les échanges de chaleur. La différence de température entre les deux fluides permet de provoquer un flux thermique à travers la surface de chauffe.

La quantité de chaleur transférée dépend de :

- la nature du fluide (viscosité, chaleur spécifique, ...)
- la vitesse de circulation du fluide par rapport à la paroi ;
- la différence de température moyenne entre les deux fluides ;
- nature, épaisseur et état de surface de la paroi ;

### I.2. Différents modes de circulation des fluides

#### a- Echangeurs à courant parallèles :

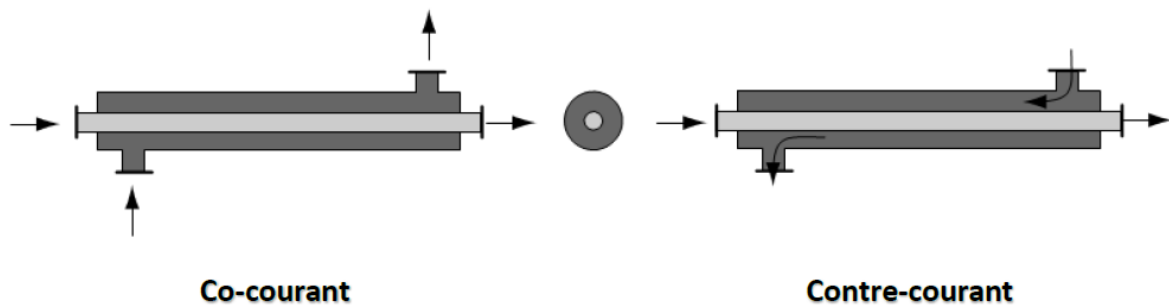


Figure I.1 Echangeurs à courant parallèles

#### b- Echangeurs à courants croisés :

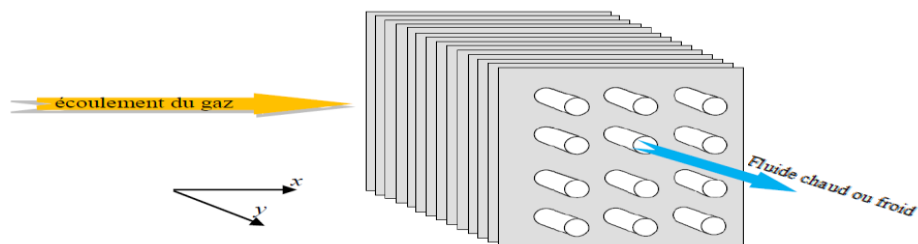


Figure I.2 Echangeurs à courant croisés

### **I.3. Classification des échangeurs de chaleur**

Les échangeurs de chaleur peuvent se classifier suivants diverses critères, on distingue :

- Classification selon le sens d'écoulement des deux fluides :

Echangeurs à co-courant, échangeurs à contre- courant ; échangeurs à courant croisé.

- Classification selon le nombre de fluides :

Deux fluides, plusieurs fluides.

- Classification selon le mode de transfert de chaleur :

Conduction, convection, rayonnement.

- Classification selon le matériau de la surface d'échange :

Echangeurs métalliques ;

Echangeurs non métalliques ;

- Classification selon la compacité

Non compact  $< 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$

Compact  $>700 \text{ m}^2/\text{m}^3$

- Classification selon le type de construction

### **I.4. Différents types des échangeurs de chaleur :**

#### **I.4.1 Echangeur à tubes et calandre :**

Les principaux éléments sont : les tubes, la calandre et les chicanes intermédiaires. La calandre peut être métallique mais les autres éléments sont en matière plastique.

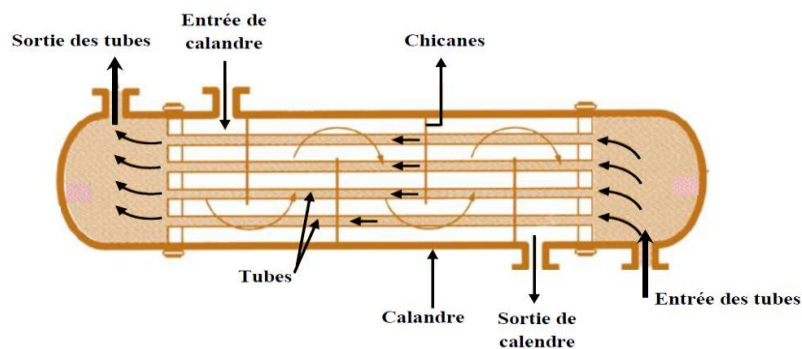


Figure.I.3 Echangeur de chaleur tubes/calandre

### I.4.2 Echangeur à plaques et joints :

Dans cet échangeur la surface d'échange est composée d'une série de plaques métalliques équipée de joints serrés les uns contre les autres par des tirants. Le type de circulation doit être de préférence à contre-courant. Les plaques peuvent être lisses ou ondulées (corrugués) afin d'intensifier l'échange de chaleur par l'augmentation de la turbulence et de la surface d'échange.

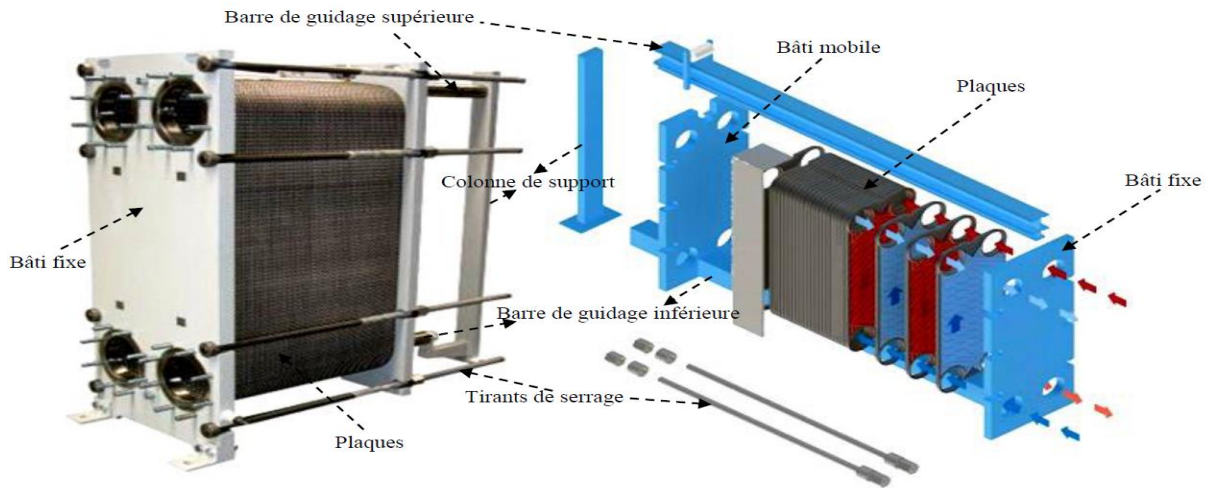


Figure.I.4 Echangeur à plaques et joints

### I.4.3 Échangeur monotube

Dans lequel le tube est placé à l'intérieur d'un réservoir et a généralement la forme d'un serpentín comme montré à la figure suivante.

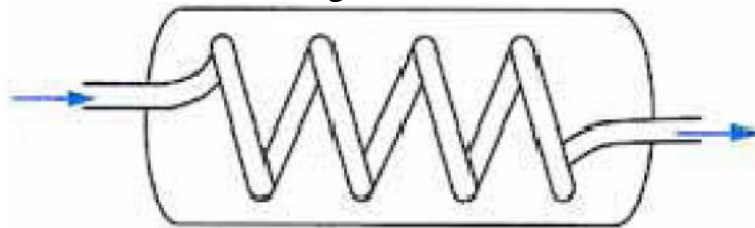


Figure I.5 Échangeur monotube en serpentín

### I.4.4 Échangeur coaxial

Dans lequel les tubes sont le plus souvent centrés ; en général, le fluide chaud ou le fluide à haute pression s'écoule dans le tube intérieur comme montré à la figure suivante.

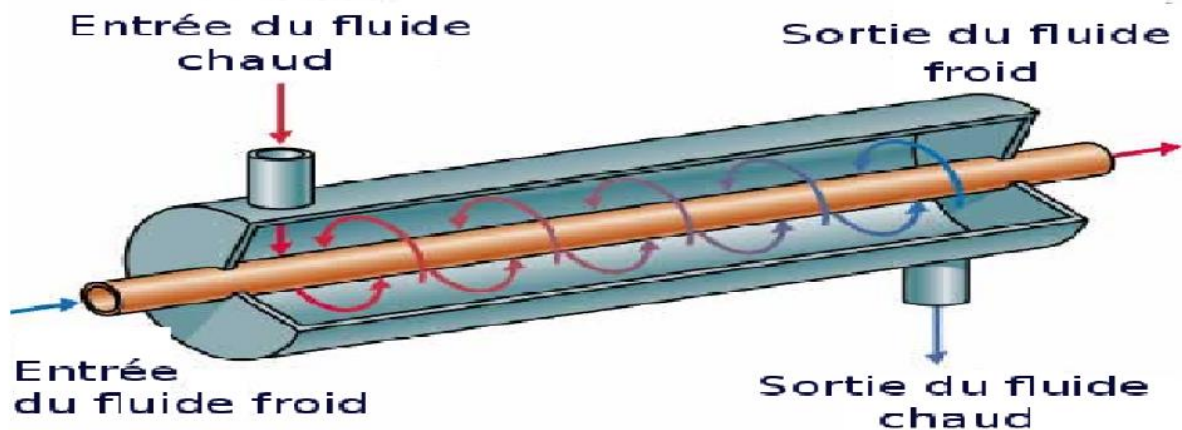


Figure I.6 Échangeur coaxial

## I.5 Caractéristiques géométriques des échangeurs de chaleur :

### I.5.1 Echangeur à fluides séparés :

On a considéré les échangeurs à fluide séparé car le transfert de chaleur s'effectue à travers une paroi métallique.

### I.5.2 disposition des échangeurs :

Le mode de circulation des fluides dans un échangeur peut se regrouper en deux catégories :

- Les vecteurs vitesses de l'écoulement sont parallèles : écoulement à contre-courant, à co-courant.
- Les vecteurs vitesses de l'écoulement sont perpendiculaires : échangeur à courant croisé.

### I.5.3 Aspects structurales dans la conception des échangeurs de chaleur :

On doit citer deux structures essentielles qui servent à la conception des échangeurs :

- Structure à module
- Structure à passe

#### a. Echangeur à module :

Ils sont constitués de plusieurs cellules élémentaires identiques. Il se considère par une périodicité géométrique. On peut se limiter à l'étude d'une seule cellule, l'assemblage de plusieurs modules permettant de reconstituer tout l'appareil. Parmi les principaux modèles d'échangeur modulaire on cite les appareils suivants :

- Les appareils à faisceaux de tubes et calandre

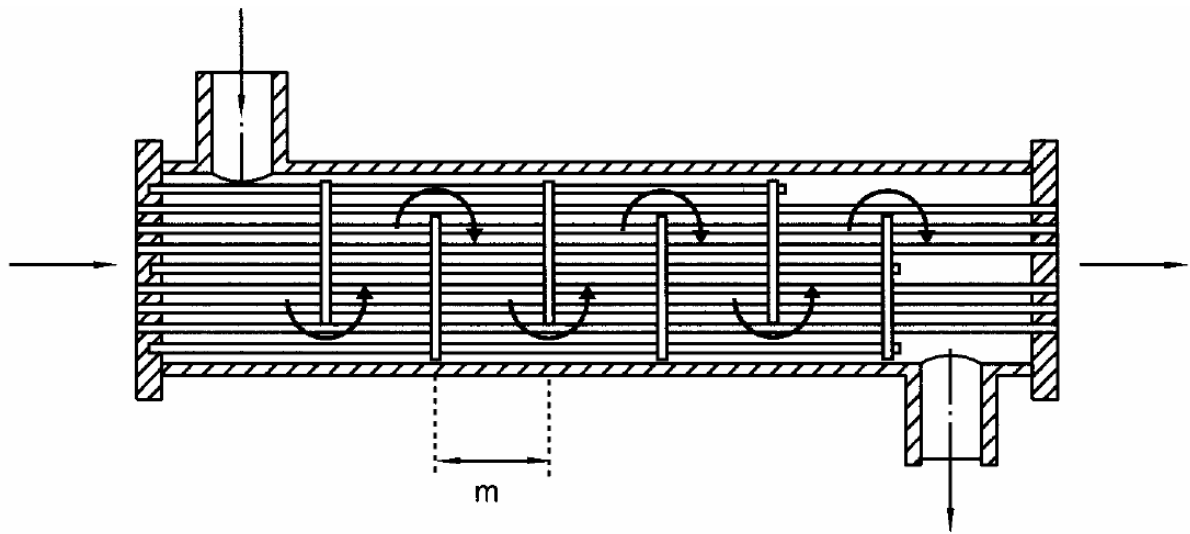


Figure.I.7 Echangeur tubulaire à chicanes

- Les appareils à spirales

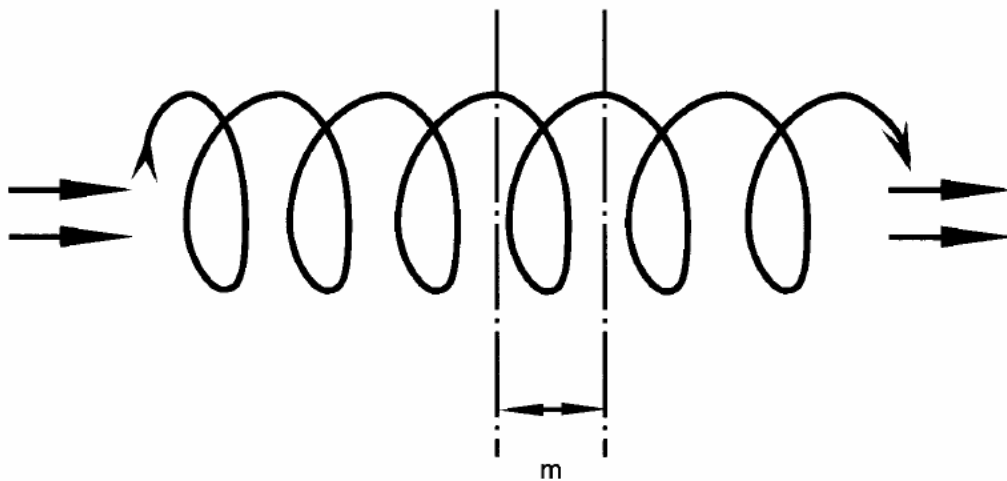


Figure.I.8 Echangeur à tube en spirale

**b. Echangeur à passes :**

On désigne par passe une traversée de l'échangeur par l'un des deux fluides. Parmi les échangeurs à passe la famille représentative regroupant les modèles de type P-N. Ce sont des appareils à faisceau de tubes et calandre dans lesquelles chacun des deux fluides traverse une ou plusieurs fois le volume d'échange. Le fluide qui circule dans la calandre passe P fois dans le volume d'échange et le fluide contenu dans les tubes le traverse N fois ( $N/2$  aller,  $N/2$  retour).

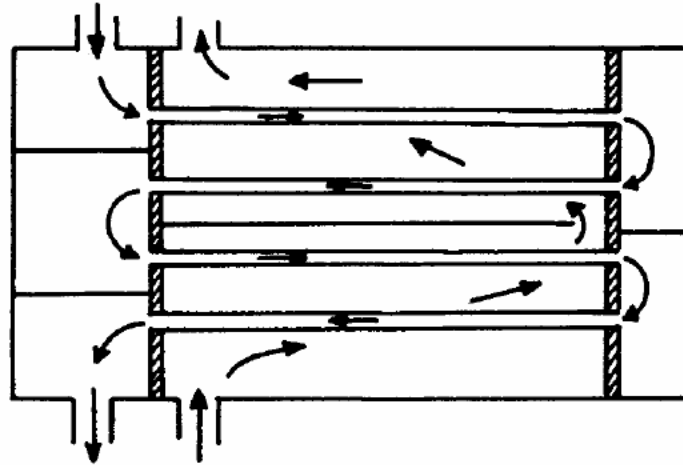


Figure.I.9 Exemple d'échangeur P-N : P = 2, N = 4

Le modèle P-N le plus courant est l'échangeur 1-N : le fluide situé côté calandre ne traverse celle-ci qu'une fois, tandis que le fluide qui circule dans les tubes la traverse N fois.

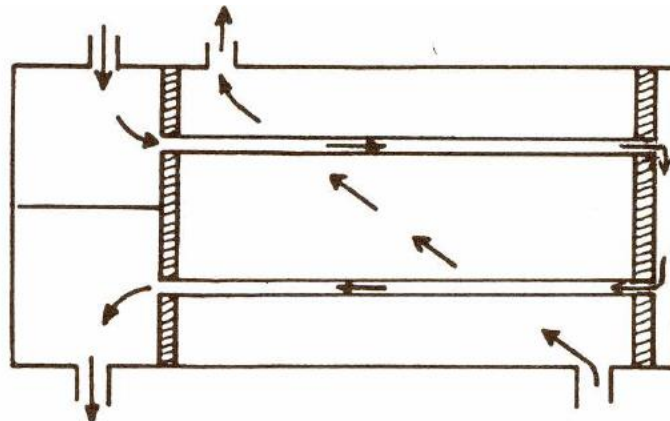


Figure.I.10 Schéma d'échangeur 1-N (N = 2)

### I.6 Échange de chaleur avec changement de phase

Dans ce cas, l'un des deux fluides subira un changement de phase à l'intérieur de l'échangeur : des évaporateurs si le fluide froid passe de l'état liquide à l'état gazeux, ou des condenseurs si le fluide chaud passe de l'état de vapeur à l'état liquide.

### I.7. Encrassement dans les échangeurs :

L'encrassement des équipements de transfert thermique est le dépôt de matière ou de substance non désiré sur la surface d'échange. Ce dépôt qui évolue dans le temps est constitué de cristaux

de résidus biologiques des produits d'une réaction chimique ou bien la combinaison de plusieurs de ces éléments.

### **I.7.1 Phases d'encrassement :**

Il existe cinq phases qui se décomposent chronologiquement comme suit :

- Initiation :

Cette phase est associée au temps nécessaire avant de pouvoir observer la formation d'un dépôt d'encrassement sur une surface propre.

- Transfert de particules à la paroi ;
- Adhésion des particules ;
- Réentraînement des particules
- Vieillessement

### **I.7.2 Types d'encrassement :**

D'après le mécanisme dominant de l'encrassement, on distingue les cinq types suivants :

#### **a. Encrassement particulaire :**

La plupart des écoulements de fluide industriel (liquide ou gaz) transporte des particules dont la taille est variable. Il s'agit de domaine granulométrique, le dépôt inévitable de ces particules sur la surface d'échange puis leur accumulation crée l'encrassement particulaire.

#### **b. Entartrage**

#### **c. Corrosion**

#### **d. Encrassement biologique**

#### **e. Encrassement par réaction chimique**

## **I.8. Calcul des pertes de charge**

### **I.8.1 Définition**

Les pertes de charge dans les échangeurs de chaleur sont quantifiées par les chutes de pression entre l'entrée et la sortie. La valeur de la perte de charge est en fonction de la vitesse de circulation des fluides, de leurs caractéristiques physiques et de la géométrie de l'échangeur de chaleur.

### **I.8.2 Pertes de charge à l'intérieur des tubes :**

La formule suivante est valable en régime isotherme pour une longueur droite L de tuyauterie de diamètre uniforme di.

$$\Delta P = \frac{f \cdot G^2 \cdot L}{di \cdot \rho} = \frac{f \cdot v^2 \cdot L \cdot \rho}{di}$$

G =  $\rho \cdot v$  : Vitesse massique ;

f : coefficient de frottement ;

$\rho$  : masse volumique

$\Delta P$  : pertes de charge.

La valeur du coefficient de frottement f est en fonction du nombre de Reynolds, elle est donnée par les expressions suivantes :

Régime laminaire :  $Re < 2100 \quad f = \frac{32}{Re}$

Régime turbulent :  $Re > 2100$

Tube lisse :  $f = 0,0028 + 0,25 \cdot Re^{-0,32}$

Tube rugueux :  $f = 0,007 + 0,582 \cdot Re^{-0,42}$

Pour tenir compte des conditions non isothermes de l'écoulement, Sieder –Tates proposent de corriger l'équation isotherme :

$$\Delta P = \frac{f \cdot G^2 \cdot L}{di \cdot \rho \cdot \Phi_t}$$

Avec  $\Phi_t = \left(\frac{\mu}{\mu_p}\right)^{0,25}$  en régime laminaire

$\Phi_t = \left(\frac{\mu}{\mu_p}\right)^{0,14}$  en régime turbulent