



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPEREUR ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم  
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCÉDES



N° d'ordre : M2...../GPE/2020

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

### DEMASTER ACADIEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option: Génie des procédés de l'environnement

## Thème

# Étude comparative entre les échangeurs à plaque et tubulaire

Présenté par

1-M<sup>elle</sup> BENZAIT Yamina

2-M<sup>elle</sup> BERRAHAL Khiera imene

Soutenu le 30/06/ 2020 devant le jury composé de :

Président :	M <sup>me</sup>	BOULAKOUD Manel	Grade : MCB	Université de Mostaganem
Examineur :	M <sup>me</sup>	HADDOU Nabila	Grade : MCB	Université de Mostaganem
Rapporteur :	M <sup>me</sup>	BOUBEGRA Naima	Grade : MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2019/2020



## REMERCIEMENT

*Avant tout propos, nous remercions Allah, le tout  
Puissant, de nous avoir donné la volonté et patience*

*D'achever nos études et mener à terme ce travail.*

*Exprimons, tout d'abord, nos sincères*

*aux membres de jury qui vont examiner*

*Ce modeste travail : Melle HADDOU Nabila*

*Et Melle BOULAKOUD Manel*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à*

*Notre promoteur madame Mme BOUBEGRA NAIMA, pour nous*

*Encadrés et pour son service et ses orientations qui*

*Apportent l'aide précieuse et des conseils bénéfiques et ses*

*Critiques judicieux qui ont beaucoup pratiqué à L'amélioration de ce*

*mémoire.*



# *Dédicaces*

*Nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidés,*

*Soutenu et encouragé de près ou de loin*

*Avant tout c'est grâce à dieu que je suis arrivée là.*

*A mes très chers parents, la lumière de ma vie*

*A mes très chers frères et sœurs.*

*A toute ma famille.*

*Tous mes enseignants.*

*A mes chers amis.*

*A tous ceux qui m'ont aidé.*

*A mes amis de la promotion de GPe (2019/2020)*

***Yamina***



# *Dédicaces*

*Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon  
égard, de me soutenir  
et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.*

*A ma chère mère,*

*A mon cher père,*

*A mes frères,*

*A ma chère sœur et mon mari,*

*Pour ses soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long  
de mes études.*

*A ma chère binôme ,Amina,*

*Pour son entente et sa sympathie.*

***Kheira Imene***

## ملخص:

يحدث التبادل الحراري في العديد من قطاعات النشاط الصناعي، ويتم إجراؤه بشكل عام دون تغيير الوسائط المشاركة في نقل الحرارة. من الضروري بعد ذلك استخدام معدات التبادل المحددة، وتعرف هذه المعدات باسم المبادلات الحرارية، وهي أنظمة ديناميكية حرارية موجودة في جميع الوحدات الصناعية التي تتم فيها عمليات استخراج الحرارة. تتيح دراسة المبادل الحراري قياس حجم الجهاز

كلمة مفتاحية: مبادل حراري القاذورات مبادل أنبوبي

## Résumé

Les échanges thermiques interviennent dans des nombreux secteurs d'activités industrielles, ils s'effectuent généralement sans altération des milieux intervenant dans le transfert thermique. L'utilisation d'équipements spécifiques d'échange est alors nécessaire, ces équipements sont connus sous la dénomination d'échangeurs de chaleur, ce sont des systèmes thermodynamiques présents dans toutes les unités industrielles dans lesquelles interviennent les processus d'extraction de chaleur. L'étude d'un échangeur de chaleur permet de dimensionner un appareil.

**Mot-clé :** Echangeur de chaleur, Encrassement, Échangeur tubulaire

## Abstract:

Heat exchanges take place in many sectors of industrial activity; they are generally carried out without altering the media involved in heat transfer. The use of specific exchange equipment is then necessary, this equipment are known under the name of heat exchangers, these are thermodynamic systems present in all industrial units in which heat extraction processes take place. The study of a heat exchanger makes it possible to size a device

**Keywords:** Heat exchanger, Contamination, Tubular exchanger

## Liste des tableaux

**Tableau IV.1 :** Les différentes propriétés entre les deux échangeurs de chaleur .....20

## Liste des figures

<b>Figure. I.1</b> : Schéma générale d'un échangeur de chaleur.....	3
<b>Figure. I.2</b> : les types des échangeurs.....	6
<b>Figure. I.3</b> : les dispositions des écoulements.....	7
<b>Figure. II.1</b> :Conception d'un échangeur à plaque.....	8
<b>Figure. II.2</b> : Structure d'un échangeur à plaque.....	9
<b>Figure. II.3</b> :Echangeur à plaques et joints.....	10
<b>Figure. II.4</b> : Echangeurs Plaques soudées.....	11
<b>Figure. II.5</b> : Echangeurs à plaques brasées.....	12
<b>Figure. III.1</b> : Echangeur tubulaire.....	13
<b>Figure. III.2</b> : Echangeur monotube en serpentins.....	14
<b>Figure. III.3</b> : Echangeur coaxial .....	14
<b>Figure. III.4</b> : Echangeur à tube séparé.....	15
<b>Figure. III.5</b> : Echangeur à tube rapproché.....	15
<b>Figure. III.6</b> : Echangeur à tube ailette.....	15
<b>Figure. III.7</b> : Autre différent type d'ailettes.....	16
<b>Figure. III.8</b> : Echangeur à tête flottante.....	19
<b>Figure. III.9</b> : Echangeur à tube en U.....	19
<b>Figure V.1</b> : Nettoyage mécanique.....	24
<b>Figure V.2</b> : Nettoyage chimique .....	25

## Sommaire

Remerciement  
Dédicace  
Résumé

Liste des figures

Introduction générale ..... 1

### Chapitre I : Généralités

I.1. Définition d'un échangeur de chaleur..... 3

I.2 Classification des échangeurs de chaleur..... 3

I. 2. 1 Classification selon le mode de transfert de chaleur..... 3

I.2. 2 Classements suivant les types d'échange ..... 4

I.2.3 Classement suivant le procédé de transfert de chaleur..... 5

I.2.4 Classement fonctionnel..... 5

I.2.5 Classement suivant la nature du matériau de la paroi d'échange..... 5

I.2.6 Classement technologique..... 5

I.2.7 Classement suivant la disposition des écoulements..... 6

### Chapitre II: La famille des échangeurs de chaleur à plaques

II. 1. Introduction..... 8

II. 2. Fonctionnement d'un échangeur à plaques : ..... 9

II. 3. Echangeur à plaques et joints..... 10

II. 4. Echangeur à plaques soudées ..... 11

II. 5. Echangeurs à plaques brasées..... 12

### Chapitre III: Les familles des échangeurs de chaleurs tubulaires

III. 1 Introduction..... 13

III. 2. Echangeur monotube..... 14



III. 3	Echangeur coaxial.....	14
III.1	Échangeur multitubulaire.....	14
III.4.1	Échangeur à tubes séparés.....	14
III.4.2	Échangeur à tubes rapprochés.....	15
III.4.3	Échangeur à tubes ailettes.....	15
III.4.4	Echangeur à tube et calendre.....	17

**Chapitre IV : Etude comparative entre les deux échangeurs précédents**

IV. 1	Les échangeurs à plaques.....	18
IV. 2.	Les échangeurs tubulaires .....	19

**Chapitre V : Les Problèmes de fonctionnement des échangeurs de chaleurs**

V.1.	Introduction : .....	21
V. 2.	Différent types d'encrassement : .....	21
V. 2.1.	Encrassement particulaire [Gudmunsser] .....	22
V. 2.2.	Encrassement biologique [NelcowatHandbook et mémento Degrémont] : .....	22
V. 2.3.	Encrassement par réaction chimique [Froment, Lund] .....	22
V. 2.4.	Corrosion [Epstein, Leconte] .....	22
V. 2.5	Entartrage [Epstein] .....	23
V. 2.6.	La vibration : .....	23
V. 3.	Méthodes de nettoyages des échangeurs de chaleur .....	23
V. 3.1.	Nettoyages mécaniques.....	25
V. 3.2.	Nettoyage chimique .....	25
	CONCLUSION GENERALE.....	26

Références Bibliographique

# **Introduction**

### INTRODUCTION GENERALE

Dans les sociétés industrielles, l'échangeur de chaleur est un élément essentiel de toute politique de maîtrise de l'énergie. Une grande part (90 %) de l'énergie thermique utilisée dans les procédés industriels transite au moins une fois par un échangeur de chaleur, aussi bien dans les procédés eux-mêmes que dans les systèmes de récupération de l'énergie thermique de ces procédés. On les utilise principalement dans les secteurs de l'industrie (chimie, pétrochimie, agroalimentaire, production d'énergie, etc.), du transport (automobile, aéronautique), mais aussi dans le secteur résidentiel et tertiaire (chauffage, climatisation, etc.). Le choix d'un échangeur de chaleur, pour une application donnée, dépend de nombreux paramètres : domaine de température et de pression des fluides, propriétés physiques et maintenances. Il est évident que le fait de disposer d'un échangeur bien adapté, bien dimensionné, bien réalisé et bien utilisé permet un gain de rendement et d'énergie des procédés

Nous avons dans ce mémoire étudié une comparaison théorique et scientifique pour deux types des échangeurs de chaleur, et avons essayé autant que possible de la simplifier et de l'expliquer dans cette étude pour mettre en évidence son importance dans divers domaines Industriels.

Dans le premier chapitre nous allons présenter des généralités sur les différents types d'échangeurs de chaleur et leurs classifications. Suivi d'un chapitre présent d'une étude sur le fonctionnement de l'échangeur de chaleur d'une famille à plaque. Aussi le troisième chapitre sera consacré l'étude de l'échangeur tubulaires. Suivis par un quatrième chapitre étude comparative entre les deux échangeurs de chaleur mentionné précédemment dans les deux chapitres .aussi dans notre étude théorique, nous discutons également sur les plusieurs problèmes qui affectent les échangeurs.

Finalement ce mémoire sera terminé par une conclusion générale qui englobe le continue de l'étude.

Chapitre I :  
Généralités

### I. 1. Définition d'un échangeur de chaleur :

Les échanges thermiques interviennent dans de nombreux secteurs d'activités humaines, ils sont des dispositifs qui échangent la chaleur entre deux fluides de températures différentes qui sont séparés par une paroi solide. Le gradient de température ou les différences de températures facilitent ce transfert de chaleur. Dans quelques échangeurs de chaleur, les fluides échangent de la chaleur est en contact direct et dans la plupart des échangeurs de chaleur, le transfert de chaleur entre les fluides se produit à travers une paroi (surface) de séparation.

Le transfert de chaleur se fait par trois moyens principaux : le rayonnement, la conduction et la convection. Dans l'utilisation des échangeurs de chaleur le rayonnement a lieu. Cependant, par rapport à la conduction et à la convection, le rayonnement ne joue pas un rôle majeur. La conduction se produit lorsque la chaleur du fluide à température élevée traverse la paroi solide. Pour maximiser le transfert de chaleur, la paroi doit être mince et faite d'un matériau très conducteur. La plus grande contribution au transfert de chaleur dans un échangeur de chaleur est faite par convection. Le même fluide peut conserver son état physique liquide ou gazeux, où se présenter successivement sous les deux phases (c'est le cas des condenseurs, évaporateurs, bouilleurs...).

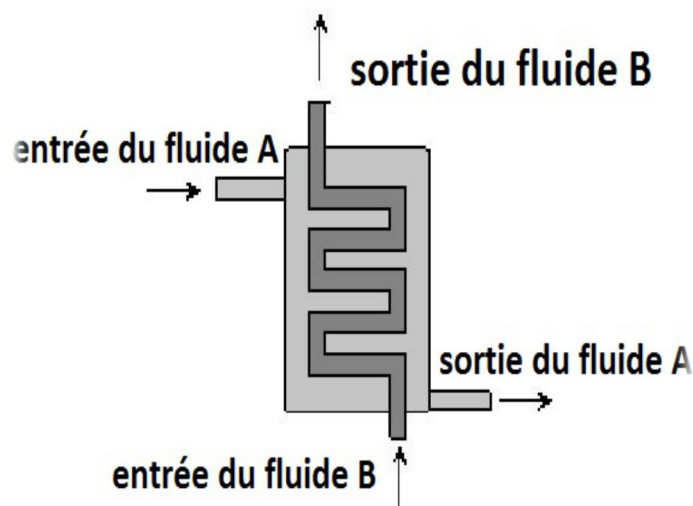


Figure. I.1:Schéma générale d'un échangeur de chaleur

## I. 2. Classification des échangeurs de chaleur

### I. 2.1 Classification selon le mode de transfert de chaleur

Les trois modes de transfert de chaleur

- **Conduction** : il y a contact entre les deux corps, le transfert se fait sans déplacement de matière.
- **Convection** : un des corps au moins est un fluide : la chaleur se transmet par le déplacement ou le mélange des fluides. Ce mouvement peut être naturel ou forcé (pompe, ventilateur ...)
- **Rayonnement** : le transfert se fait au moyen d'ondes électromagnétiques.  
Ce transfert a toujours lieu, mais il est négligeable devant la conduction et la convection en-dessous de 100 °C généralement.

### I. 2.2 classements suivant les types d'échange

#### a) Échangeur sans changement de phase:

Les échangeurs de chaleur sans changement de phase correspondent aux échangeurs dans lesquels l'un des fluides se refroidit pour réchauffer le deuxième fluide sans qu'il y ait changement de phase. Les températures des fluides sont donc variables, tout le long de l'échangeur.

#### b) Échangeur avec changement de phase :

Les échanges avec changement de phase sont caractérisés par trois cas différents :

- L'un des fluides se condense alors que l'autre se vaporise : ces échangeurs sont rencontrés dans les machines frigorifiques
- Le fluide secondaire se vaporise en recevant de la chaleur du fluide primaire, lequel ne subit pas de changement d'état. Ils sont appelés évaporateurs.
- Le fluide primaire se condense en cédant sa chaleur latente au fluide secondaire plus froid, lequel ne subit pas de transformation d'état.

**I. 2.3 Classement suivant le procédé de transfert de chaleur**

Suivant qu'il y a ou non stockage de chaleur, on définit un fonctionnement en récupérateur ou en régénérateur de chaleur :

- 1- **transfert sans stockage**, donc en récupérateur, avec 2 ou n passages et un écoulement en général continu ;
- 2- **transferts avec stockage**, donc en régénérateur, avec un seul passage et un écoulement intermittent, la matrice de stockage étant statique ou dynamique

**I. 2.4 Classement fonctionnel**

Le passage des fluides dans l'échangeur peut s'effectuer avec ou sans changement de phase ; suivant le cas, on dit que l'on a un écoulement monophasique ou diphasique. On rencontre alors les différents cas suivants :

- 1-les deux fluides ont un écoulement monophasique ;
- 2- un seul fluide à un écoulement avec changement de phase, cas des évaporateurs ou des condenseurs ;
- 3-les deux fluides ont un écoulement avec changement de phase, cas des évapora-condenseurs

**I. 2.5. Classement suivant la nature du matériau de la paroi d'échange**

On retiendra deux types de paroi :

- les échangeurs métalliques en acier, cuivre, aluminium ou matériaux spéciaux : superalliages, métaux ou alliages réfractaires ;
- les échangeurs non métalliques en plastique, céramique, graphite, verre, etc.

**I. 2.6. Classement technologique**

Les principaux types d'échangeurs rencontrés sont les suivants :

- **À tubes** : monotubes, coaxiaux ou multitubulaires ;
- **À plaques** : à surface primaire ou à surface secondaire ;
- **Autres types** : contact direct, à caloducs ou à lit fluidisé. ,

# PRINCIPALES TECHNOLOGIES D'ECHANGEURS THERMIQUES

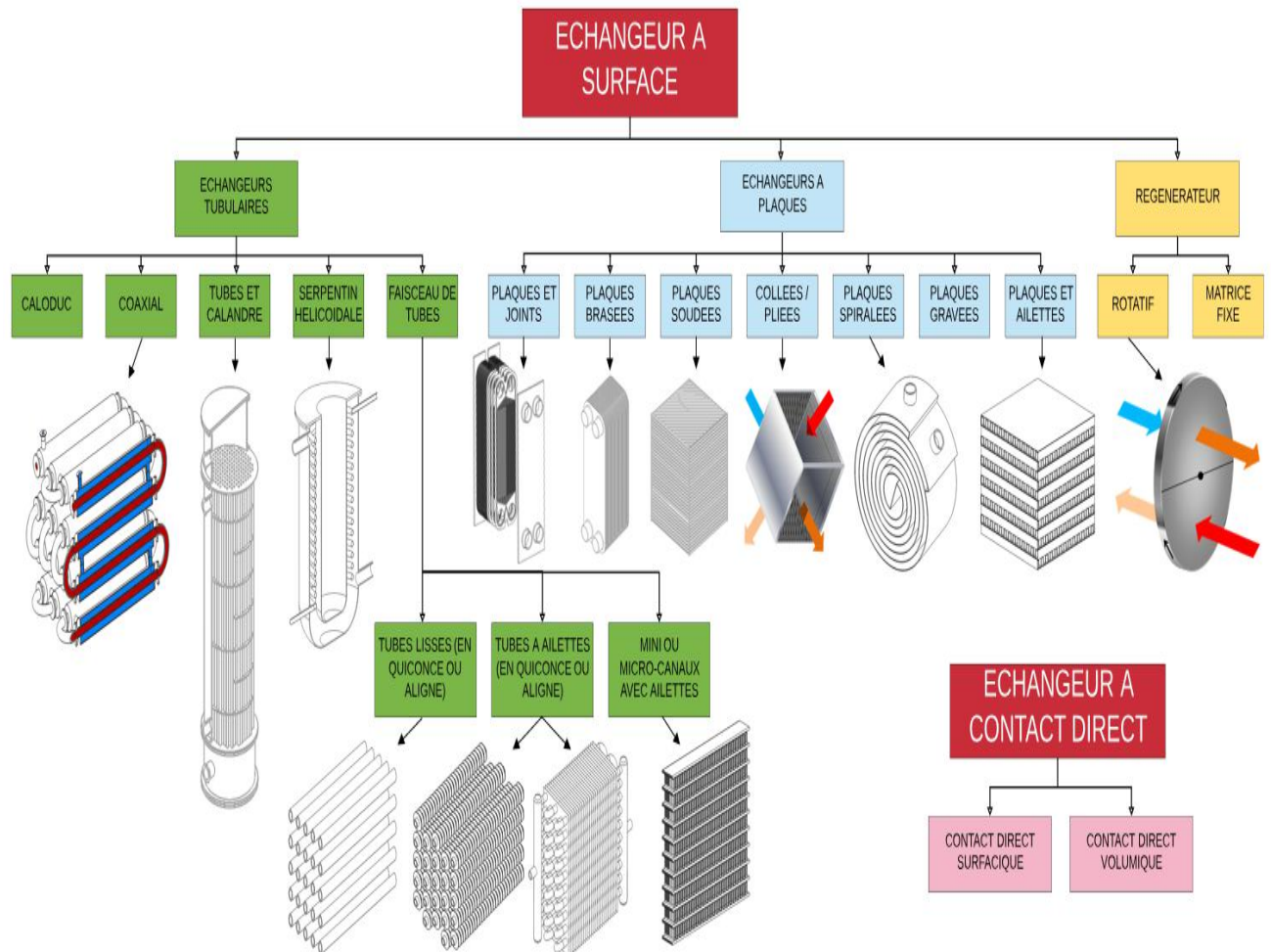


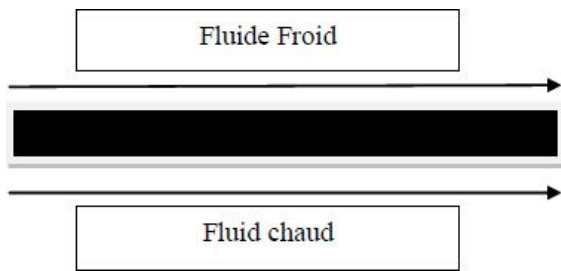
Figure. I.2 : les types des échangeurs

## I.2.7. Classement suivant la disposition des écoulements :

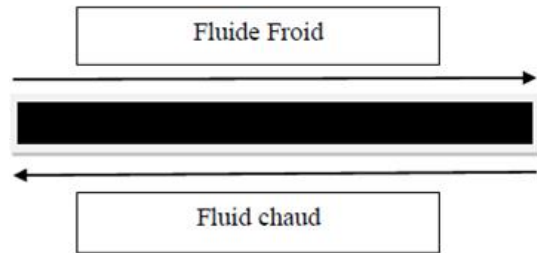
Dans les échangeurs à fluide séparés, les modes de circulation des fluides peuvent se ranger en deux catégories :

- 1) Même sens « **Co-courants** ».
- 2) Sens contraire « **contre-courant** ».
- 3) Ou bien les vecteurs vitesses sont perpendiculaire l'un à l'autre ; il s'agit cette fois de « **courant croisés** »

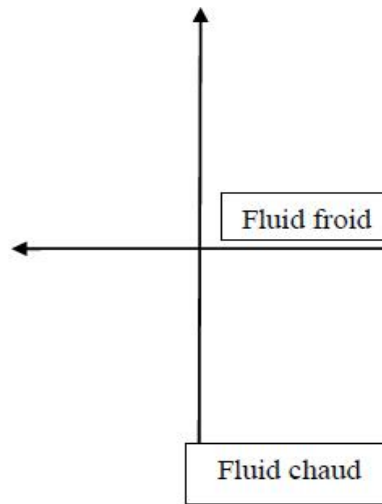
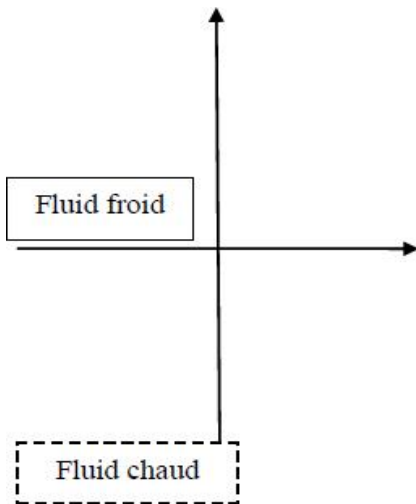




Echangeur Co-courant



Echangeur contre - courant



Echangeur à courant croisés

Figure. I.3: les dispositions des écoulements

**Chapitre II: La famille  
des échangeurs de chaleur  
à plaques**

## II. 1. Introduction:

L'échangeur à plaques est un appareil qui permet un transfert de chaleur entre deux liquides ayant des températures différentes et ce, sans contact direct entre les liquides. Ce sont des plaques d'acier inoxydable qui assurent le passage de la chaleur d'un liquide à l'autre.

Sont constitués par un assemblage de plaques cannelées indépendantes. Les plaques sont encastrées et serrées dans un bâti. Chaque paire de plaques adjacentes forme un canal et les deux fluides (produits et fluide caloporteur) circulent alternativement dans les canaux. Des profils spéciaux sont utilisés pour augmenter la turbulence, augmenter ainsi le coefficient de convection. Les plaques sont équipées de joints permettant d'éviter tout mélange des fluides.

Les échangeurs à plaques sont composés de plusieurs plaques. Elles sont conçues en aluminium, en acier inoxydable ou en matériaux synthétiques. Les plaques sont généralement de formes nervurées ou cannelées (chevrons). Elles sont assemblées par soudage, brasure ou elles peuvent être également comprimées les unes aux autres dans un bâti avec des joints. Les plaques sont en général assez fines (entre 0.1mm et 0.8mm) et très peu espacées (entre 5 et 10 mm). Entre chaque plaque, des canaux permettent la circulation parallèle de deux fluides, l'un chaud qui est refroidi et l'autre froid qui est réchauffé. Ainsi, dans un échangeur à plaques un fluide circule dans les conduits pairs, pendant que l'autre circule dans les conduits impairs. Le transfert d'énergie calorifique se fait sur toute la surface des plaques (zone de transfert thermique). La fabrication en chevron ou canaux des plaques permet de créer une zone turbulence à l'intérieur de l'échangeur, ce qui facilite les échanges thermiques et améliore la conductivité.

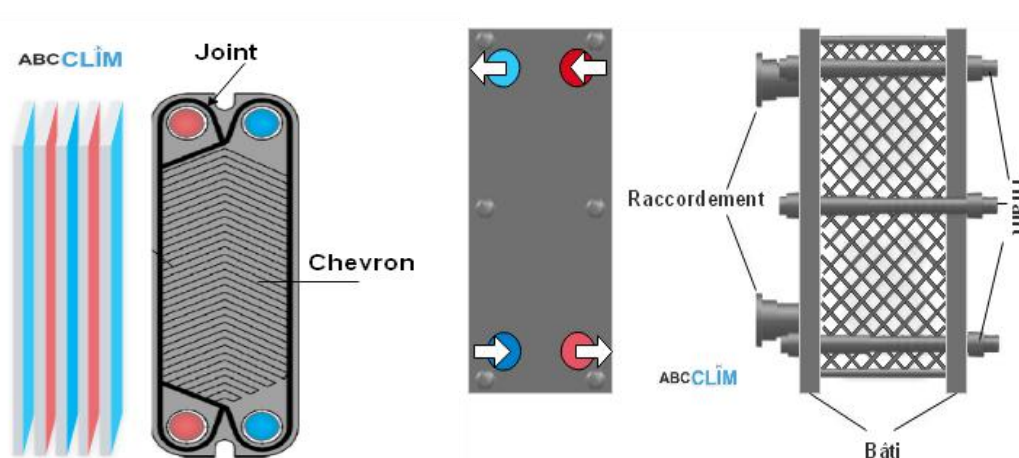


Figure. II.1: Conception d'un échangeur à plaque.

## II. 2. Fonctionnement d'un échangeur à plaques :

Dans un échangeur de chaleur à plaque, les courants entre les fluides primaires et secondaires peuvent être parallèles, opposés ou croisés. Les deux fluides convergent dans des canaux séparés l'un pair et le second impair, à proximité afin que l'un réchauffe ou refroidisse l'autre. Ils peuvent maintenir la température du fluide au niveau souhaité et de façon stable et durable. L'échangeur à plaques est composé d'un grand nombre de plaques disposées en forme de millefeuilles et séparées les unes des autres d'un petit espace où circulent les fluides. Les plaques d'échange sont désormais standardisées et elles sont réalisées en acier inoxydable, en nickel, et également en bronze. Chaque fluide, une fois connecté, circule respectivement de deux plaques en deux plaques et à contre-courant afin d'optimiser l'échange. On ne peut pas dépasser des pressions supérieures à 30 Atm et des températures supérieures à 150°C.

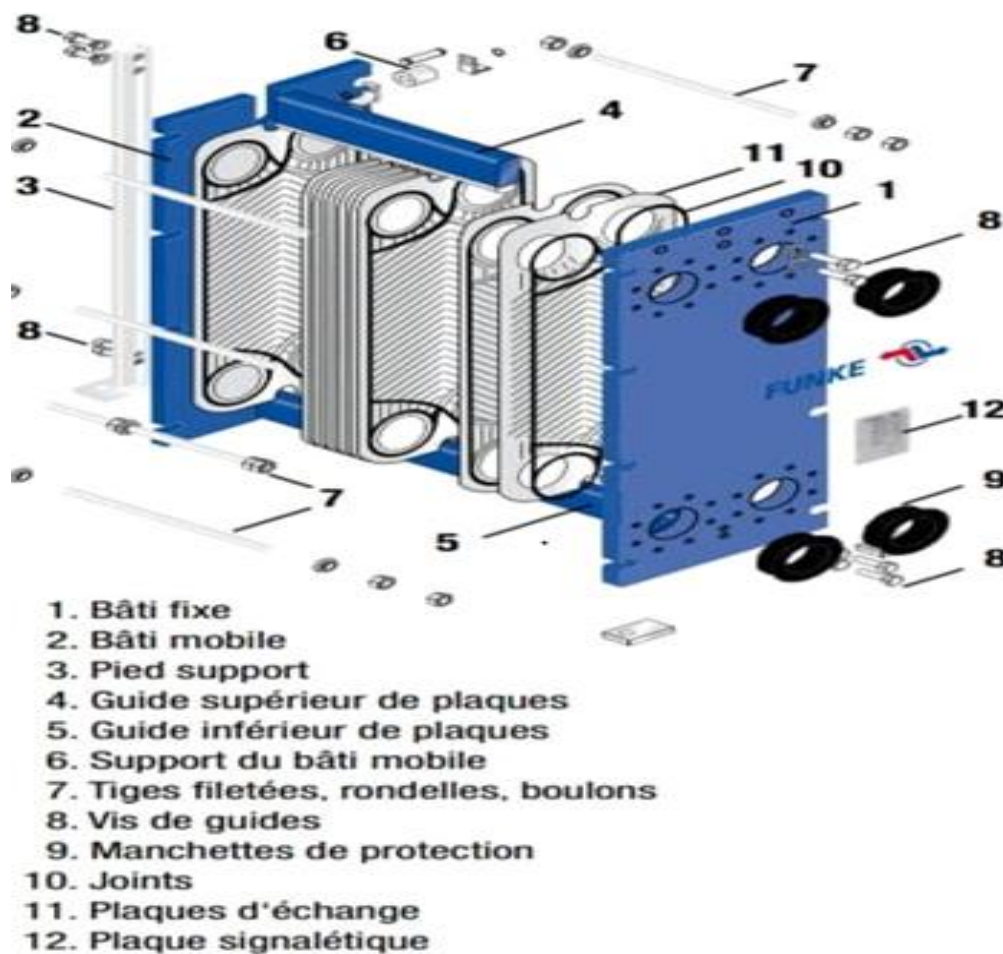


Figure. II.2: structure d'un échangeur à plaque

### II. 3. Echangeur à plaques et joints

Dans un échangeur thermique à plaques et joints, les plaques sont équipées de joints élastomères qui obturent les canaux et dirigent le fluide dans des canaux alternés. Les plaques sont positionnées dans un bâti comprenant une plaque et une plaque de serrage mobile et sont comprimées au moyen de tirants latéraux ajustés entre ces plaques.

Les plaques de canal et la plaque de pression sont suspendues à une barre de support supérieure et fixées à leur position par une barre de guidage inférieure, toutes deux fixées à la colonne de support. La conception permet un nettoyage facile et une modification simple de la capacité (en retirant ou en ajoutant des plaques).

Le joint par plaque assure l'étanchéité de l'échangeur ainsi que la répartition des fluides dans les canaux formés par deux plaques.

Des cannelures droites ou en chevrons favorisent la turbulence des fluides (même pour des liquides visqueux) et assurent une bonne tenue à la pression du fait du grand nombre de contact métal/métal. On distingue les échangeurs à surface primaire (les plus communs) et les échangeurs à surface secondaire (on ajoute des ailettes plissées ou ondulées entre les plaques).

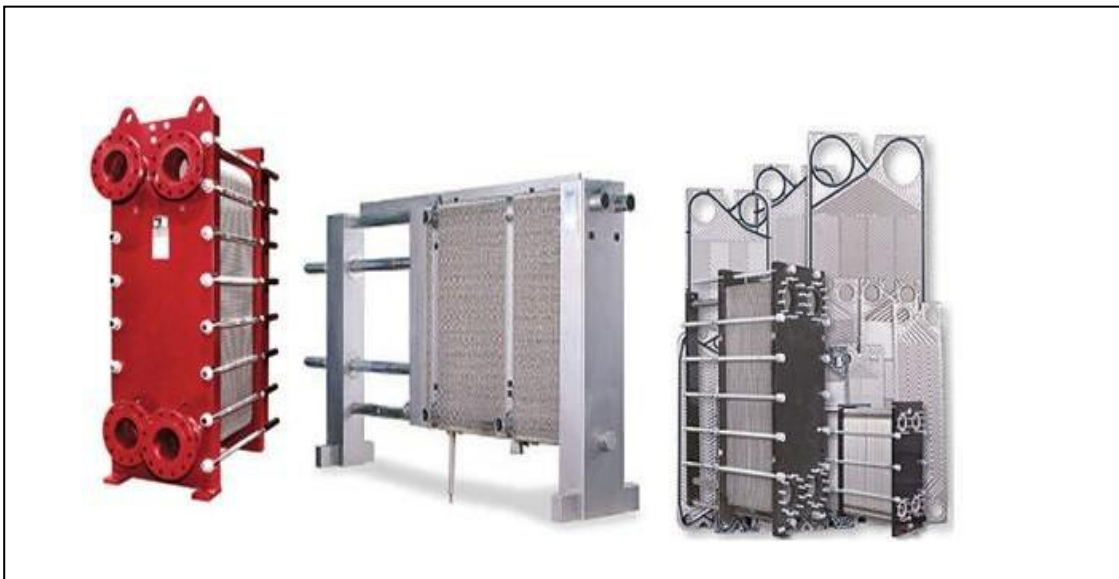


Figure. II.3: Echangeur à plaques et joints

## II. 4. Echangeur à plaques soudées

Composé de plaques corruguées soudées ensemble, pour former le cœur de l'échangeur. L'étanchéité entre les plaques est assurée par une soudure. Seuls les panneaux, démontables, sont équipés de joints pour assurer l'étanchéité. Est accessible pour inspection ou pour des opérations de nettoyage, en démontant tout simplement les 4 panneaux latéraux

La conception brevetée des angles adoucis de l'assemblage cœur / panneaux du fait de cet échangeur le plus robuste de sa catégorie et représente la solution idéale pour un fonctionnement dans des conditions de services sévères (de température et pression).

L'échangeur de chaleur fonctionne en simple ou multi – passe et, si besoin, l'accès aux plaques d'échange se fait en démontant ses panneaux latéraux ; ce qui permet inspections et nettoyage mécanique. L'utilisation a pour effet d'augmenter le niveau de température et de pression par rapport aux échangeurs à plaques et joints (de -40 à 500 °C en température et jusqu'à 30 bars en pression).

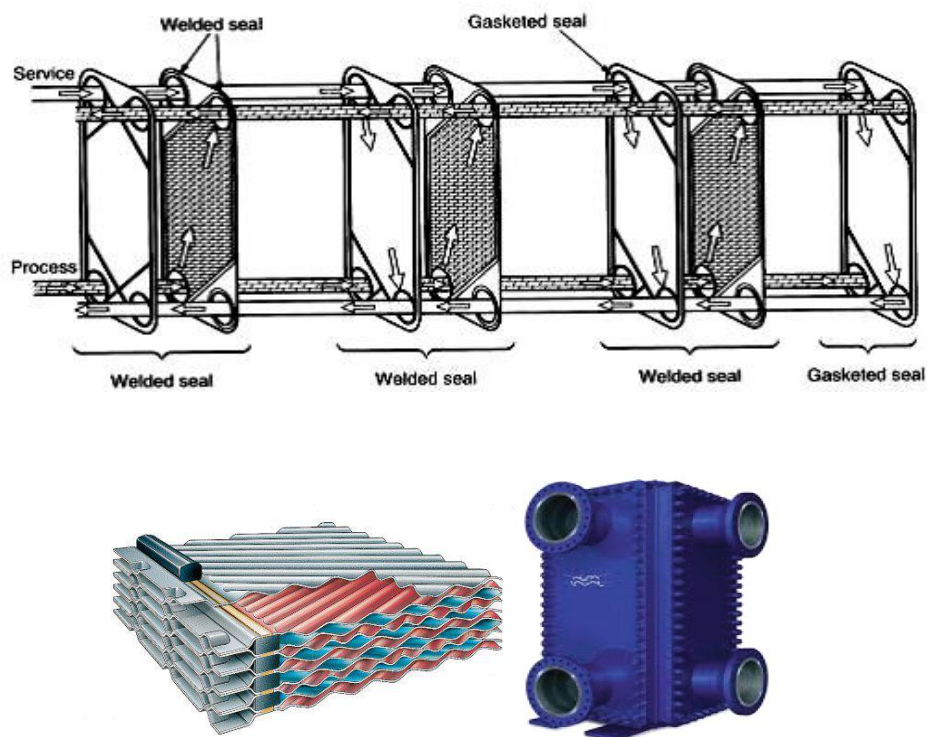


Figure. II.4: Echangeurs Plaques soudées

## II. 5. Echangeurs à plaques brasées

Les échangeurs à plaques brasées sont composés d'un certain nombre de plaques nervurées en acier inoxydable, brasés sous vide au cuivre ou au nickel.

L'estampage spécial des plaques engendre un flux turbulent qui est nécessaire pour une transmission optimale de chaleur et qui apporte, en plus, un effet autonettoyant, car les importantes frictions de paroi font que les dépôts sur la surface se trouvent réduits.

Pression de service maximale 30 bar (version avec brasure au nickel jusqu'à 10 bar possible) plage de température jusqu'à 200°C.

Ils sont compacts et efficaces grâce à leur construction. Les plaques de chaleur en inox sont les plus communes mais on peut également en trouver en alliage à base de nickel pour une utilisation avec des fluides plus corrosifs. Une permutation des fluides est possible sans endommager l'échangeur. Les échangeurs à plaques inox brasées résistent à la pression jusqu'à une trentaine de bars, quant à ceux au nickel, ils peuvent résister jusqu'à une dizaine de bars. Pour des applications à très fortes pressions il faudra opter pour une construction spéciale étudiée et adaptée.

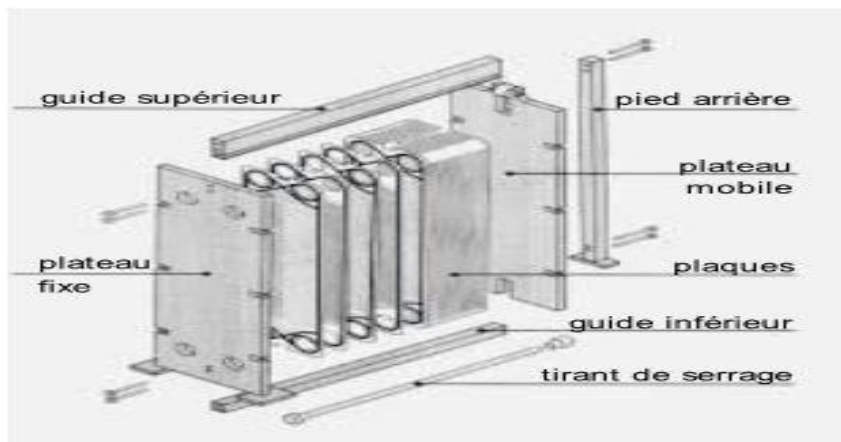
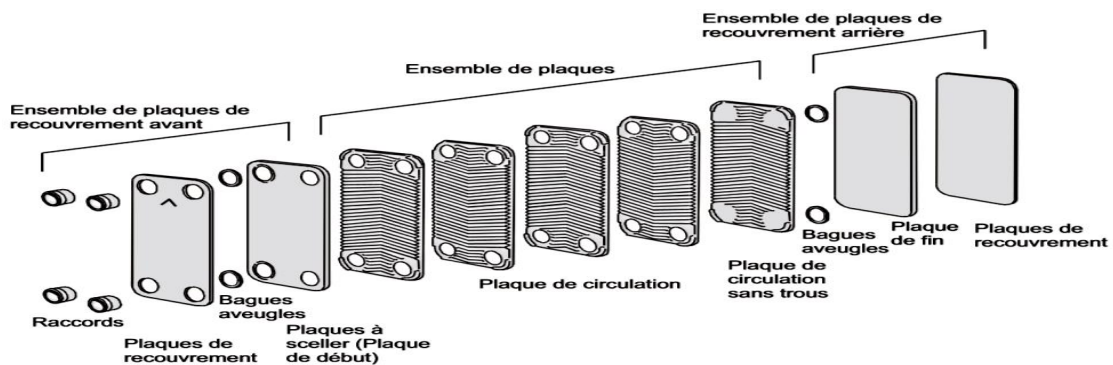


Figure. II.5: Echangeurs à plaques brasées

**Chapitre III:**  
**Les familles des échangeurs**  
**de chaleurs tubulaires**



### III.1 Introduction

Un échangeur tubulaire simple est constitué de deux tubes cylindriques coaxiaux. Un fluide (généralement le chaud) circule dans le tube intérieur, l'autre dans l'espace compris entre les deux tubes. Le transfert de chaleur du fluide chaud au fluide froid s'effectue à travers la paroi qui constitue le tube intérieur. Ils sont constitués de tubes dont la paroi forme la surface d'échange. Ils comportent soit un tube unique (serpentin), soit deux tubes coaxiaux (échangeurs bitubes), soit un faisceau de tubes enferme dans une enveloppe appelée calandre.

Ils représentent un certain nombre d'avantages : en particulier ils sont faciles à fabriquer, relativement bon marché, de maintenance aisée et surtout ils peuvent être utilisés à des pressions élevées et à de fortes températures. Leur robustesse et leur fiabilité contrebalancent leur encombrement. On distingue 3 catégories le plus souvent :

- **Les échangeurs monotubes** pour lesquels le tube est placé à l'intérieur d'un réservoir. Il a généralement la forme d'un serpentin
- **Les échangeurs coaxiaux** pour lesquels les tubes sont le plus souvent cintrés; en général le fluide chaud ou le fluide à haute pression s'écoule dans le tube intérieur.
- **Les échangeurs multitubulaires** existant sous quatre formes :
  1. Echangeurs à tube séparés
  2. Echangeurs à tube rapprochés
  3. Echangeur à tube ailettes
  4. Echangeur à calandre

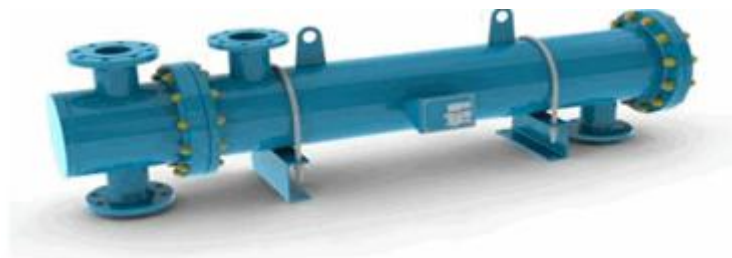


Figure. III.1 : Echangeur tubulaire

### III. 2. Echangeur 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 au dessous

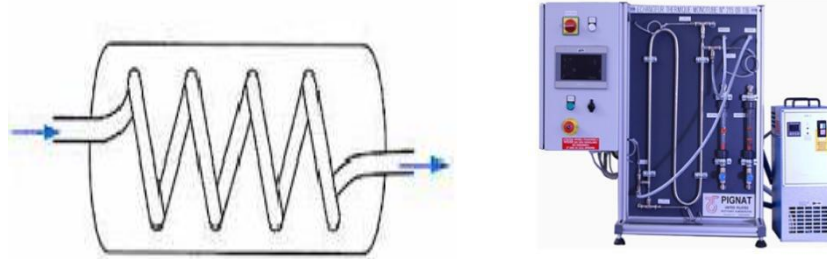


Figure. III.2: Echangeur monotube en serpentín

### III. 3. Echangeur coaxial

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

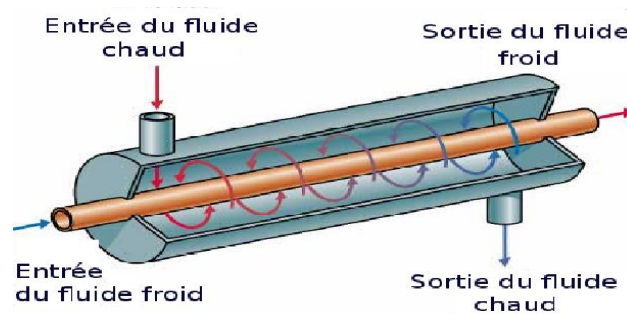


Figure. III.3 : Echangeur coaxial

### III.4 Echangeur multitubulaire

Existant sous quatre formes :

#### III.4.1 Échangeur à tubes séparés

À l'intérieur d'un tube de diamètre suffisant (de l'ordre de 100 mm) retrouvent placés plusieurs tubes de petit diamètre (8 à 20 mm) maintenus écartés par des entretoises. L'échangeur peut être soit rectiligne, soit enroulé.

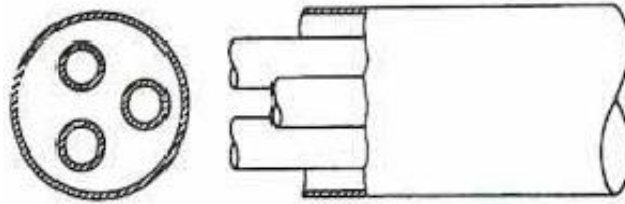


Figure. III.4: Echangeur à tube séparé

### III.4.2 Echangeur à tubes rapprochés

Pour maintenir les tubes et obtenir un passage suffisant pour le fluide extérieur au tube, on place un ruban enroulé en spirale autour de certains d'entre eux. Les tubes s'appuient les uns sur les autres par l'intermédiaire des rubans.

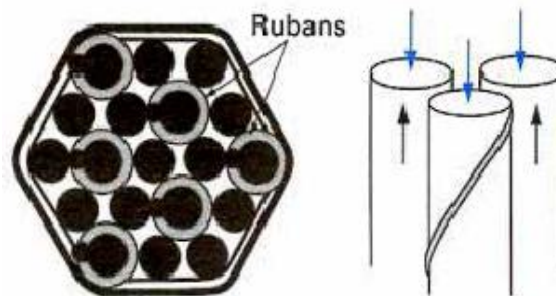


Figure. III.5: Echangeur à tube rapproché

### III.4.3 Echangeur à tubes ailettes

Ces tubes permettent d'améliorer le coefficient d'échange thermique ; différents types d'ailettes sont toutefois présentés si contre.

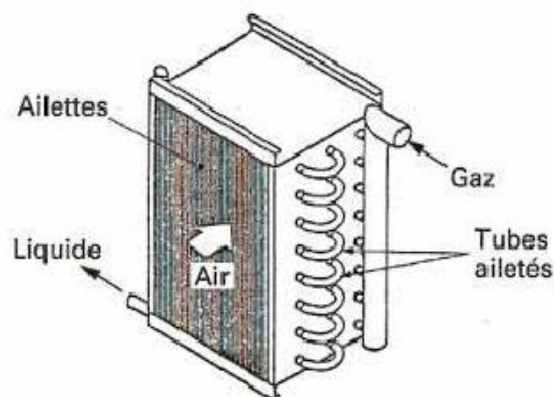
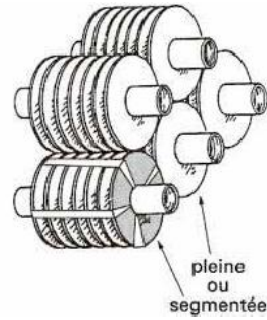
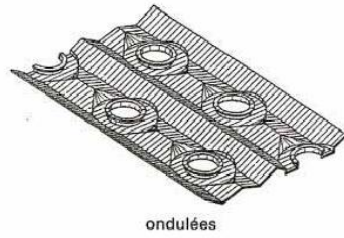
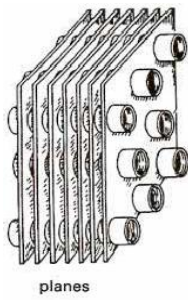


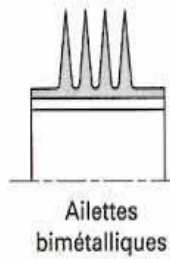
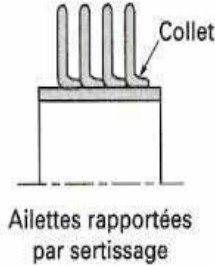
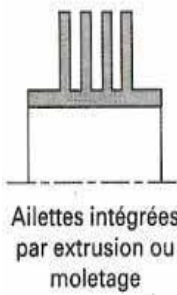
Figure. III.6: Echangeur à tube ailette.

**Ailettes transversales**



Ailettes continues.

Ailettes indépendantes.



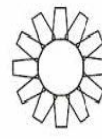
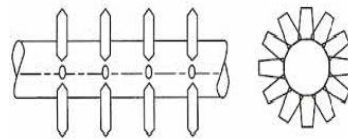
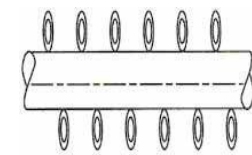
Ailettes intégrées par extrusion ou moletage

Ailettes rapportées par sertissage

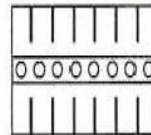
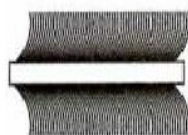
Ailettes bimétalliques

Ailettes spirale

Ailettes annulaire.

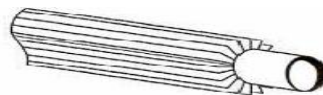


Ailettes à fils préformés Ailettes poinçonnées



Ailettes en brosse

• Ailettes longitudinal:



Type d'aitettes longitudinal.

Figure. III.7: Autre différent type d'aitettes

### III.4.4 Echangeur à tube et calandre

#### a) Echangeur de chaleur à tête flottante

L'une des plaques tubulaires est fixe, bloquée entre les brides de la calandre et de la boîte de distribution. La seconde plaque, d'un diamètre inférieur, porte la boîte de retour et peut coulisser librement à l'intérieur du capot qui ferme la calandre.

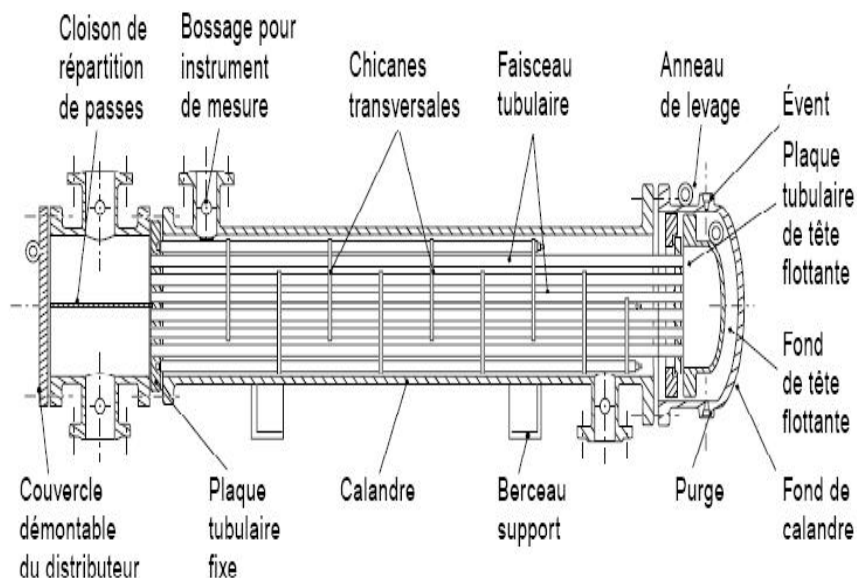


Figure. III.8: Echangeur à tête flottante

#### b) Echangeur à tube en U

Le faisceau est constitué de tubes coudés en forme d'épingle, il n'est donc porté que par une seule plaque tubulaire. Ce système permet la libre dilatation du faisceau. En revanche, le nettoyage des tubes est difficilement réalisable autrement que par voie chimique.

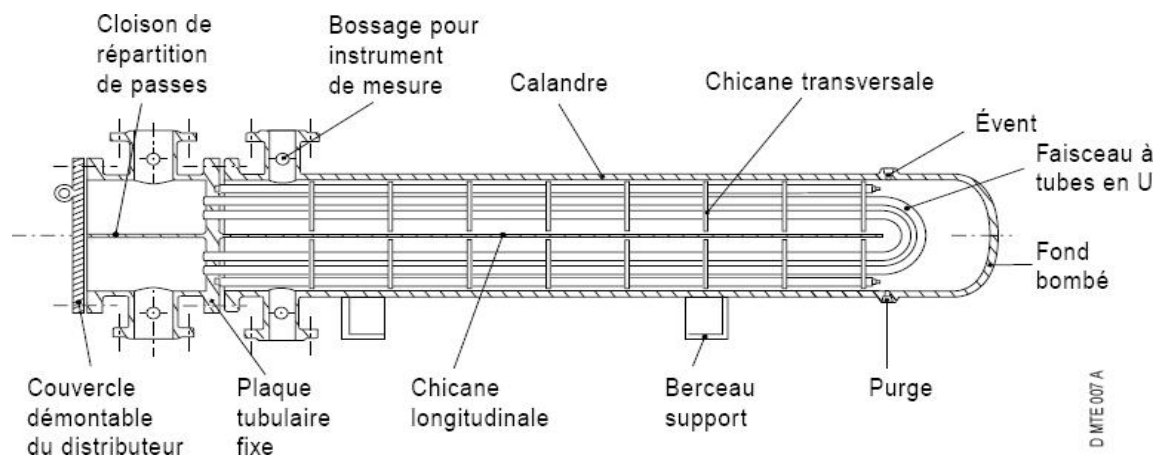


Figure. III.9: Echangeur à tube en U

## **Chapitre IV**

**Étude comparative entre les  
deux échangeurs précédents**

#### IV.4 Les échangeurs à plaques

Depuis les années XII, cette famille d'échangeur se développe de plus en plus. Ils deviennent Plus compétitifs que les échangeurs tubulaires, plus facile en maintenance, moins encombrant. Les fluides circulent sans jamais se mélanger à au travers d'une succession des plaques métalliques en acier inoxydable, aluminium, titane ou tantale. Les plaques comprises entre 0,1 mm à 0,8 mm ont pour action d'assurer le transfert de chaleur.

L'espace entre elles est compris entre 5 et 10 mm. En ce qui concerne les joints, ils sont en générale en polymère : matière souple, légères, bénéficie de bonnes caractéristiques d'isolation thermique et électrique. Ils assurent l'étanchéité de l'ensemble des plaques pressées afin de créer des corrugations à leurs surfaces, donc des turbulences. Celles-ci permettront par conséquent d'éviter tout dépôt et permettra donc une meilleure performance énergétique à terme

##### a) Les avantages des échangeurs à plaque

- Très compact.
- Offrent une bonne efficacité énergétique du fait des turbulences provoquées par la forme des plaques.
- Supporter des pressions jusqu'à 140 bars.
- Auto nettoyages
- Démontage possible.
- Plus efficaces
- Ne nécessitent pas d'espace supplémentaire pour le démantèlement

##### b) Les inconvénients des échangeurs à plaques

- Acceptent des pressions et températures moins importantes que les échangeurs tubulaires
- Des pertes de charges plus importantes
- Nettoyage haute pression.

## IV. 2. Les échangeurs tubulaires

Ils sont nombreux dans le secteur industriel et représentent environ 25 % des ventes. Malgré leur technologie ancienne face aux échangeurs à plaques brasée soudées ou à joints, les échangeurs tubulaires restent indispensables pour les fluides à forte pression ou très visqueux. Leur fonctionnement repose sur une enveloppe nommée calandre et d'un faisceau de tubes disposés à l'intérieur. Il peut être positionné verticalement ou horizontalement.

Le principe de construction de cet échangeur limite fortement la perte de charge des fluides en circulation, que ce soit dans la calandre ou dans les tubes.

### a) Les avantages des échangeurs tubulaires

- Pression extrême
- Ecart de température importante
- Ils peuvent être gigantesque aussi (plusieurs dizaines de mètres de long et diamètre)

### b) Les inconvénients des échangeurs tubulaires

- Peu pratique en maintenance donc problème de colmatage, encrassement....
- Performances moins optimales que les autres échangeurs (soudés, jointés)
- Entretien difficile, notamment pour les échangeurs de très grandes dimensions.



Tableau IV.1: Les différentes propriétés entre les deux échangeurs de chaleur

Caractéristique	Echangeur à plaques	Echangeur tubulaire
Croisement de température	Possible	Impossible
Approche de température	1°C	5°C
Raccordements	Dans un même plan	Sur plusieurs plans
Rapport des coefficients de Transmission thermique	3 à 5	1
Rapport des poids	1	3 à 10
Volume de rétention	Faible	Élevé
Rapport d'encombrement	1	2 à 5
Soudures	Aucune	Appareil soudé
Résistance aux vibrations	Bonne résistance	Sensible
Détection des fuites	aisée (par l'extérieur)	Difficile
Temps nécessaire à l'ouverture	15 minutes avec outil pneumatique	60 à 90 minutes
Réparation	Joints et plaques remplaçables	Implique le remplacement des tubes
Modification	Simple par ajout ou retrait de plaques	Impossible

Tableau IV.1 : représente comparaison de différentes propriétés des échangeurs de chaleur.

**Chapitre V :**  
**Les Problèmes de**  
**fonctionnement des**  
**échangeurs de chaleurs**

## **V. 1. Introduction :**

Les principaux problèmes de fonctionnement rencontrés par les utilisateurs d'échangeur de chaleur ont trait aux phénomènes d'encrassement, de corrosion, de vibration et de tenue mécanique. L'encrassement et la corrosion restent les phénomènes les moins compris de l'industrie ; ils se traduisent par :

- Un sur dimensionnement des appareils dans les bureaux d'études,
- Une dépense d'énergie supplémentaire,
- Le remplacement des appareils corrodés
- Des coûts d'arrêt des installations pour démontage et nettoyage.

Les phénomènes vibratoires doivent également être pris en compte dans le dimensionnement des échangeurs au même titre que les transferts de chaleur ou les pertes de charge.

Enfin, les problèmes de tenue mécanique sont, pour les géométries les plus classiques.

## **V. 2. Différent types d'encrassement :**

Il est possible de classer l'encrassement selon le mécanisme qui contrôle la vitesse de dépôt, selon les conditions d'utilisation de l'échangeur ou selon le mécanisme dominant, même s'il ne contrôle pas la vitesse de dépôt.

Alors six types différents peuvent alors être définis :

- Encrassement particulaire,
- Encrassement biologique
- Encrassement par réaction chimique
- Corrosion
- Entartrage
- Vibration

### **VI. 2.1. Encrassement particulaire [Gudmunsser] :**

Il s'agit du dépôt puis de l'accumulation sur les surfaces d'échanges de particules transportées par l'écoulement des fluides industriels:

### **VI. 2.2. Encrassement biologique [NelcowatHandbook et memento Degrémont] :**

Il est dû au développement de micro-organismes (bactéries, algues ou champignons) qui créent un film au contact de la surface d'échange : il peut même, à l'échelle macroscopique, être caractérisé par le développement de coquillages. Les actions de prévention consistent soit à détruire les micro-organismes, soit à empêcher leur développement. Les traitements correspondants utilisent des biocides et il est essentiel de maintenir la concentration du produit pendant le temps de réaction. Le choix final du traitement à adopter est en général un compromis entre les problèmes de toxicité, de pollution, de coût et de maintenance. La tendance à l'encrassement biologique est naturelle puisque les bactéries sont omniprésentes dans l'eau ; en outre, les conditions physico-chimiques rencontrées dans les échangeurs sont le plus souvent favorables à son développement.

### **VI. 2.3. Encrassement par réaction chimique [Froment, Lund] :**

On rencontre ce type d'encrassement quand une réaction chimique se produit près d'une surface d'échange et que les solides produits par la réaction s'y déposent. Cette réaction est souvent une polymérisation ; il en résulte la formation d'un dépôt. Les domaines concernés sont essentiellement l'industrie pétrochimique (craquage thermique des hydrocarbures lourds), l'industrie agroalimentaire (pasteurisation du lait) et les circuits de chauffage utilisant des fluides organiques.

### **VI. 2.4. Corrosion [Epstein, Leconte] :**

L'encrassement par corrosion est le résultat d'une réaction chimique ou électrochimique entre la surface de transfert de chaleur et le fluide en écoulement. Les produits de la réaction qui se forment et restent sur la surface d'échange créent l'encrassement. Il s'agit là d'un mécanisme de corrosion in situ. Lorsque l'encrassement est dû à des produits de corrosion générés ex situ, l'encrassement correspondant est du type particulaire

### **V. 2.5 Entartrage [Epstein] :**

Il est généralement associé à la production d'un solide cristallin à partir d'une solution liquide. Il dépend donc de la composition de l'eau industrielle. Lorsque les sels dissous sont, comme le Carbonate de calcium, à solubilité inverse, le liquide devient sursaturé au voisinage de la surface d'échange plus chaude ; la cristallisation se produit alors sur la surface et le dépôt est dur et adhérent ; dans le cas contraire d'une cristallisation se produisant au sein même d'un liquide plus chaud que la surface, le dépôt est plus mou et friable. L'encrassement par les sels à solubilité normale existe, même s'il est plus rare ; il faut signaler le cas des saumures géométriques à forte teneur en silice. L'entartrage peut se produire dans des échangeurs refroidis à l'eau, dans les unités de dessalement d'eau de mer ou saumâtre, dans les chaudières, dans les échangeurs de l'industrie agroalimentaire, dans les systèmes géothermiques .il existe différentes méthodes de prévention de l'entartrage

### **V. 2.6. La vibration :**

Les vibrations constituent un paramètre essentiel à prendre en compte dans la conception d'un échangeur, au même titre que le transfert de chaleur et les pertes de charge. Outre les aspects classiques (chocs, spectre de vibrations) issue du milieu extérieur, les échangeurs induisent leurs propres vibrations sous l'effet du fluide qui les parcourt. Ce paragraphe traite essentiellement des efforts dynamiques dus au fluide et à leur répercussion sur les tubes dans un échangeur de type tubes et calandre ; cet aspect vibratoire est peu ou pas rencontré dans les autres échangeurs.

### **V. 3. Méthodes de nettoyages des échangeurs de chaleur :**

Il est indispensable de procéder un nettoyage complet de l'appareil. Cette opération s'effectue pendant les phases d'arrêt de l'installation et deux méthodes peuvent être utilisées

- Nettoyage mécanique
- Nettoyage chimique

### **V. 3.1. Nettoyages mécaniques**

En effectue le nettoyage mécanique pendant les phases d'arrêt sur l'échangeur en place lorsque l'espace disponible le permet ou sur une aire de nettoyage. Plusieurs techniques peuvent être mises en œuvre.

Le nettoyage à l'eau sous pression est une technique très efficace pour enlever les dépôts à l'intérieur ou à l'extérieur des tubes d'échangeur. De façon occasionnelle, de sable peut être injecté avec l'eau pour arracher les dépôts durs.

Il existe plusieurs types d'appareils remplissant ces diverses fonctions. En générale le niveau de pression est un élément de choix important. Le nettoyage à l'eau sous pression est une technique éprouvée et utilisée dans les industries les plus diverses (industrie pétrolières, chimiques,...etc.).

On peut avoir aussi le nettoyage à l'aide d'outils, cette technique est utilisée pour enlever les dépôts même très durs à l'intérieur des tubes rectiligne de chaudières, de condenseurs ou de tous autres échangeurs de chaleur.



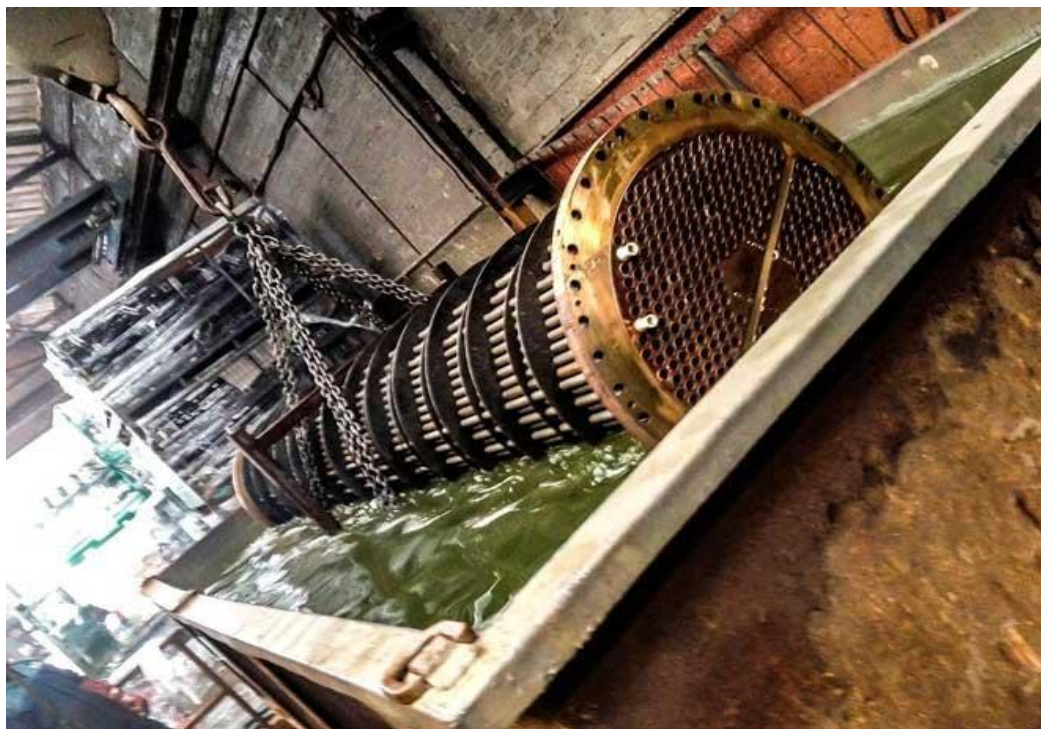
**Figure V .1: Nettoyage mécanique**

### **V. 3 .2. Nettoyage chimique :**

Les opérations de nettoyage chimique nécessitent généralement une technique de circulation de telle sorte que la solution chimique soit toujours bien mélangée et qu'il n'ait pas accumulation de produits au contact de la surface d'échange.

On peut citer plusieurs avantages existant dans ce mode de nettoyage :

- C'est une opération relativement rapide et efficace.
- Les surfaces d'échange ne subissent pas de dégâts mécaniques importants.
- Les solutions chimiques pénètrent jusqu'aux zones inaccessibles de l'échangeur et le traitement de toute la surface d'échange est réalisé.
- C'est une opération qui nécessite moins de main-d'œuvre que le nettoyage mécanique.



**Figure V .2 : Nettoyage chimique**

# **Conclusion**



### CONCLUSION GENERALE

L'échangeur d'énergie thermique est un des instruments clés du thermicien ou de l'énergéticien, que son but soit la fabrication d'un produit dont l'élaboration passe par un ensemble de cycles où varient température et pression ou qu'il s'agisse de production d'énergie mécanique (ou électrique). Rappelons que les échangeurs de chaleur aient un dispositif permettant de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre, sans les mélanger. Le flux thermique traverse la surface d'échange qui sépare les fluides une paroi qui est le plus souvent métallique ce qui favorise l'échange de chaleur.

Un échangeur de chaleur se caractérise par les fluides en présence, le but recherché la puissance à mettre en œuvre, ces critères déterminent sa forme et ses dimensions optimales.

L'intérêt du dispositif réside dans la séparation des deux circuits, gardant à chaque fluide ses caractéristiques physico-chimiques inchangées (pression, concentration en éléments chimiques...) hormis bien sûr leur température ou leur état.

Les échangeurs de chaleur sont des équipements très importants dans les sociétés industrielles et qui peuvent être relativement chère c'est pour cela que l'étape de la maintenance et du nettoyage sont des étapes primordiales qui ne sont pas à négliger.

# **Références Bibliographiques**

### Références Bibliographiques

- 1) SiteWEB:[http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/5218/4/Chapitre\\_I\\_.pdf](http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/5218/4/Chapitre_I_.pdf).
- 2) Étude thermo-énergétique d'un échangeur de chaleur à plaques et joints : Application aux fluides géothermiques UNIVERSITE ABOU-BAKR BELKAID DE TLEMCEN
- 3) André BONTEMPS, Alain GARRIGUE, Charles GOUBIER, Jacques HUETZ, Christophe« Description des échangeurs», technique de l'ingénieur [B 2 341].
- 4) PIERRE WUITHIER- V-Etude et calcul du matériel-Appareils tubulaires d'échange de chaleur.1047-1100
- 5) Etude plaques d'un échangeur UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM 2018 /2019 génie mécanique
- 6) [www.alfalaval.com](http://www.alfalaval.com).
- 7) [www.gea-phe.com](http://www.gea-phe.com).