

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR**

**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**

**MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER**

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Par :

**Ouatmani Melissa**

**Oukhaled Sara**

## **Thème**

---

**Etude et dimensionnement d'un échangeur de chaleur à plaques**

**-Unité Energie Cevital Bejaia-**

---

Soutenu le 02/072023 devant le jury composé de :

Mr. A. Djerrada

Président

Mr. D.Sadaoui

Rapporteur

Mr. A. Benslimane

Examineur

**Année Universitaire 2022-2023**



## Déclaration sur l'honneur

### Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 Décembre 2020 (\*)  
fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : Ouatmani, Oukhaled  
Prénom : Melissa, Sara  
Matricule : 181833005689, 181833006944  
Spécialité et/ou Option : Énergétique  
Département: Génie mécanique  
Faculté: Technologie  
Année universitaire : 2022/2023

et chargé de préparer un mémoire de (*Licence, Master, Autres à préciser*) : Master


Intitulé: **Etude et dimensionnement d'un Echangeur de Chaleur à plaque**  
**-Unité Energie Cevital Bejaia-**

déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le

...../...../.....

Signature de l'intéressé

 Lu et approuvé

.....

## Remerciements

*Tout d'abord nous tenons à remercier le bon Dieu de nous avoir donné la force, le courage et la volonté pour accomplir ce travail.*

*Nous tenons à remercier les membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail.*

*Nous tenons à exprimer ici notre reconnaissance à M. DJAMEL SADAoui pour l'honneur qu'il nous a fait en assurant l'encadrement du présent mémoire. Nous n'oublions pas de citer l'extrême richesse de son enseignement et l'influence importante qu'il a eu sur nous.*

*Sans oublier de remercier tous les membres de nos familles respectives pour leurs soutiens et leurs encouragements, particulièrement nos parents.*

*Nous adressons également nos chaleureux remerciements à M. BOUSOUFA AHMED, de l'unité Energie du groupe CEVITAL d'avoir accepté de nous encadrer au sein de l'entreprise. Enfin, merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce mémoire, du point de vue scientifique ou administratif.*

## Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui sont la source de mon inspiration et mon courage*

*A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi*

*A mon très cher père, pour ces encouragements et son soutien, et surtout pour son sacrifice afin que rien n'entravé le déroulement de mes études*

*A mes sœurs : AHLEM, RIMA, NOURCINE à qui je souhaite le succès dans leur étude*

*A mon frère : HAMZA*

*Enfin, à tous ceux que j'aime, et qui m'aiment*

***Sara oukhaled***

## Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui sont la source de mon inspiration et mon courage*

*A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier  
pour moi*

*A mon très cher père, pour ces encouragements et son soutien, et surtout pour son sacrifice  
afin que rien n'entravé le déroulement de mes études*

*A mes sœurs : SALOUA, WISSAM, MERIEM à qui je souhaite le succès dans leur étude*

*A mon frère*

*Enfin, à tous ceux que j'aime, et qui m'aiment*

***Melissa ouatmani***

# Sommaire

<i>Remerciements</i> .....	<i>i</i>
<i>Dédicaces</i> .....	<i>ii</i>
<i>Dédicaces</i> .....	<i>iii</i>
<i>Sommaire</i> .....	<i>iv</i>
<i>Liste des figures</i> .....	<i>vi</i>
<i>Liste des tableaux</i> .....	<i>vii</i>
<b>NOMENCLATURE</b> .....	
<i>Introduction Générale</i> .....	
<i>Introduction Générale</i> .....	<i>1</i>
<i>Chapitre I</i> .....	
<i>Généralités sur les échangeurs de chaleur</i> .....	
<b>I.1. Introduction</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2. Principal but et fonctions d'un échangeur de chaleur</b> .....	<b>3</b>
<b>I.3. Construction d'un échangeur de chaleur</b> .....	<b>3</b>
<b>I.4. Classification des échangeurs de chaleur</b> .....	<b>4</b>
I.4.1 Selon la surface d'échange .....	4
I.4.2 Suivant le sens d'écoulement.....	5
I.4.3 Suivant les type d'échange.....	6
<b>I.5. Types des échangeurs</b> .....	<b>7</b>
I.5.1 Echangeurs tubulaires : .....	7
I.5.2 Echangeurs à plaques.....	9
I.5.3 Echangeur de chaleur à surface ondulées à ailettes. ....	11
<b>I.6. Encrassement</b> .....	<b>11</b>
I.6.1 Types d'encrassement .....	12
I.6.2 Paramètres influençant l'encrassement.....	13
<b>I.7. Conclusion</b> .....	<b>14</b>
<i>Chapitre II</i> .....	
<i>Théorie des échangeurs de chaleur à plaques</i> .....	
<b>II.1. Introduction</b> .....	<b>36</b>
<b>II.2. Etude d'un échangeur de chaleur</b> .....	<b>36</b>
<b>II.3. Bilan énergétique de base et équations de conception</b> .....	<b>36</b>
II.3.1 Coefficient d'échange global .....	37
<b>II.4. Méthode de conception thermique</b> .....	<b>38</b>
II.4.1 Notion de la différence de température moyenne logarithmique : .....	38

---

II.4.2	Méthode de nombre d'unité de transfert.....	41	
II.4.3	Efficacité de l'échangeur $\epsilon$ .....	41	
<b>II.5.</b>	<b>Estimation du coefficient par convection.....</b>	<b>42</b>	
<b>II.6.</b>	<b>Pertes de charges.....</b>	<b>43</b>	
<b>II.7.</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>24</b>	
<i>Chapitre III.....</i>			
<i>Dimensionnement d'un échangeur de chaleur à plaques .....</i>			
<b>III.1.</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>25</b>	
<b>III.2.</b>	<b>Description de l'échangeur étudié.....</b>	<b>25</b>	
<b>III.3.</b>	<b>Caractéristiques de la plaque .....</b>	<b>27</b>	
<b>III.4.</b>	<b>Méthodes de calcul .....</b>	<b>27</b>	
III.4.1	Zone de transfert de chaleur : .....	28	
III.4.2	Écart de canal de flux moyen : .....	28	
<b>III.5.</b>	<b>Organigramme de calcul.....</b>	<b>31</b>	
<b>III.6.</b>	<b>Données du constructeur et propriétés physiques de chaque fluide .....</b>	<b>27</b>	
<b>III.7.</b>	<b>Présentation de calculs.....</b>	<b>33</b>	
<b>III.8.</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>40</b>	
<i>Conclusion Générale.....</i>			
<i>Conclusion générale.....</i>			<b>32</b>
<i>Références Bibliographiques .....</i>			
<i>Références Bibliographiques .....</i>			<b>44</b>
<b>ANNEXES .....</b>			
Annexe A : fiche technique de l'échangeur.....			<b>46</b>
Annexe B : condition opératoire d'échangeur à plaque .....			<b>37</b>
<i>Résumé.....</i>			<b>48</b>
<i>Abstract.....</i>			<b>38</b>

## Liste des figures

Figure I.1: Echangeur rotatif (matrice mobile) .....	5
Figure I.2: Echangeur rotatif (matrice fixe) .....	5
Figure I.3: échangeur coaxial a) courant parallèle b) contrecourant.....	6
Figure I.4: échangeur a courant croise.....	6
Figure I.5: Echangeur coaxial .....	7
Figure I.6 : Echangeur tube et calandre.....	8
Figure I.7 : échangeur à spiral .....	9
Figure I.8: : échangeur à plaque .....	10
Figure I.9: échangeur à plaques et joints.....	10
Figure I.10: Ailettes planes et circulaires montées sur des tubes.....	11
Figure I.11: exemple d'encrassement.....	13
Figure II.1: Element de la resistance thermique globale d'un echangeur a plaque.....	17
Figure II. 2 : Distribution de température a)co courant b)contre-courant.....	20
Figure II. 3 : Distribution de température a)évaporateur b) condenseur.....	20
Figure III. 1 : Vu de l'échangeur à plaque .....	26
Figure III. 2: Caracteristique de la plaque .....	27
Figure III .3 : Organisme de calcule.....	32
Figure III .4 : variation de la surface en fonction $N_{cp}$ .....	34
Figure III 5 : variation de la surface en fonction de $b$ .....	35
Figure III.6 : variation de la surface en fonction de $\phi$ .....	35



**Liste des tableaux**

Tableau I.1 : avantages et inconvénients d'un échangeur de chaleur tube calandre .....	8
Tableau I.2 : Avantage et inconvénients d'un échangeur de chaleur spiral.....	9
Tableau I.3:Resistance d'encrassement pour quelque fluides les plus utilisee.....	13
Tableau II.1 : Expression de $\epsilon$ -NUT.....	22
Tableau III.1 : les données de service de l'échangeur.....	33
Tableau III.2 : les propriétés physico-chimiques des fluides.....	33
Tableau III.3: Mesure de plaque.....	33
Tableau III.4:Resultas de calcule de l'échangeur la premier méthode.....	38
Tableau III.5: Résulta de calcule de l'échangeur 2 eme méthode.....	40

## NOMENCLATURE

<b>Symboles</b>	<b>Définition</b>	<b>Unité (SI)</b>
$L_{eff}$	: Longueur effective de la plaque	m
$L_w$	: Largeur de la plaque	m
$e$	: Epaisseur de la plaque	m
$D_h$	: Diamètre hydraulique	m
$b$	: pas de la plaque	m
$S$	: Surface d'échange	
$M$	: Débit massique	kg/h
$G_c$	: Vitesse massique	kg/m <sup>2</sup> s
$T$	: Température	°C
$DTLM$	: Moyennes logarithmique de la différence de Température	°C
$NUT$	: Nombre d'unité de transfert	-
$C_p$	: Chaleur massique	kJ/kg °C
$h$	: Coefficient de transfert par convection	W/m <sup>2</sup> °C
$U$	: Coefficient d'échange global	W/m <sup>2</sup> °C
$\epsilon$	: Efficacité de l'échangeur	%
$\lambda$	: Conductivité thermique	W/m s
$\Delta P_t$	: Pertes de charge totale	Pa
$\Delta P_p$	: Pertes de charge dans l'orifice	Pa
$\Delta P_c$	: Pertes de charge dans le canal	Pa
$f$	: Facteur de friction	-
$K_p, m$	: Constantes	-
$N_t$	: Nombre totale de plaques	-
$N_{cp}$	: Nombre de canal par passe	-
$Re$	: Nombre de Reynolds	-
$Nu$	: Nombre de Nusselt	-

### Symboles grecs

$\alpha$	: Diffusivité thermique	$m^2 s^{-1}$
$\rho$	: Masse volumique	$kg m^{-3}$
$\mu$	: Viscosité dynamique	$kg / m s$
$\dot{Q}$	: Puissance thermique	W

### Indices

C, f	: Chaud, froid
------	----------------

# **Introduction Générale**

# Introduction Générale

Dans la majorité des installations industrielles, l'utilisation rationnelle de l'énergie est un facteur déterminant de rentabilité et de protection de l'environnement. La majeure partie des échanges énergétique industriels, se fait moyennant des échangeurs de chaleurs. la maîtrise des calculs, du dimensionnement et du design de ces appareils d'échange de chaleur est une compétence fortement demandé dans le domaine de l'ingénierie énergétique et des procédés.

L'échangeur de chaleur étudié et du type échangeur à plaques et joint, installé à la cogénération au complexe CEVITAL Bejaia, Ce dernier peut être réglé pour fonctionner dans les conditions de débits et températures variables.

L'étude envisagée dans ce travail, et le dimensionnement d'un échangeur à plaque initialement conçu pour préchauffer l'eau osmose avant de l'envoyer vers les bouilleurs même temps il baisse la température de sortie des bouilleurs

Dans la première partie de ce travail, nous avons cité les différents types des échangeurs de chaleur

Suivi du deuxième chapitre ou nous avons présenté les différentes méthodes utilisés pour le dimensionnement

Le troisième chapitre est consacré aux solutions proposées et les démarches à entreprendre pour avoir le dimensionnement d'un échangeur à plaque

On termine ce présent travail par une conclusion générale

# **Chapitre I**

## **Généralités sur les échangeurs de chaleur**

## I.1. Introduction

Un échangeur de chaleur est un dispositif de transfert de chaleur utilisé pour le transfert d'énergie thermique interne entre deux fluides ou plus disponibles à des températures différentes. Dans la plupart des échangeurs de chaleur, les fluides sont séparés par une surface de transfert de chaleur, et idéalement ils ne se mélangent pas. Les échangeurs de chaleur sont utilisés dans le processus, l'énergie, le pétrole, le transport, la climatisation, la réfrigération, la cryogénie, la récupération de chaleur, et d'autres industries. L'objectif de ce chapitre est de présenter les aspects théoriques des échangeurs de chaleur.

## I.2. Principal but et fonctions d'un échangeur de chaleur

La fonction principale de l'échangeur thermique est de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre à des niveaux de températures distincts. Les fonctionnalités des échangeurs thermiques sont extrêmement diverses et variées : les principales en sont les suivantes. [1]

- Préchauffeur ou refroidisseur d'un liquide ou d'un gaz.
- Récupérateur thermique qui permet d'introduire la récente notion de valorisation de l'énergie thermique d'un procédé. La fonction de cet échangeur est de récupérer de la chaleur.
- Réfrigérants qui assure la dissipation de l'énergie thermique non valorisable d'un procédé vers le milieu extérieur.
- Des humidificateurs ou condenseurs partiels qui assurent la condensation d'une vapeur en mélange avec un gaz incondensable pour obtenir en fin d'opération, un gaz appauvri en vapeur.
- Evaporateurs qui assurent l'évaporation complète ou partielle d'un liquide dans différents procédés.

## I.3. Construction d'un échangeur de chaleur

Un échangeur de chaleur se compose d'éléments d'échange de chaleur tels qu'un noyau ou une matrice contenant des surfaces de transfert de chaleur, et des éléments de distribution de fluide tels que des collecteurs ou des réservoirs, des buses ou des entrées et sorties de tuyaux, etc. Il existe des exceptions telles que les régénérateurs rotatifs, qui font tourner le moule à une vitesse de conception, et les échangeurs de chaleur à surface raclée, qui sont un élément rotatif avec des racleurs qui tournent en continu dans les tubes de

l'échangeur de chaleur. Les surfaces de transfert de chaleur sont en contact direct avec un fluide qui transfère la chaleur par conduction. La partie de la surface qui sépare les fluides est appelée surface de contact primaire ou direct.

Pour augmenter la surface de transfert de chaleur, des surfaces secondaires appelées ailettes peuvent être ajoutées à la surface primaire.

## **I.4. Classification des échangeurs de chaleur**

### **I.4.1 Selon la surface d'échange**

#### **a. Echangeur à contact direct ou à mélange :**

Les deux fluides peuvent être mis en contact comme c'est le cas dans les tours de refroidissement, des buses projetant de l'eau chaude sont disposées sur les parois intérieures de la tour, l'air extérieur admis par le bas s'échauffe et du fait de son changement de densité monte de bas en haut, permettant ainsi de refroidir l'eau. [2]

#### **b. Echangeurs à contact indirect :**

Ces échangeurs sont de loin les plus répandus dans l'industrie, les fluides utilisés se trouvent de part et d'autre d'une paroi imperméable. Le transfert de chaleur s'effectue à travers la paroi séparant les différents fluides sans mélange. On parle aussi d'échangeur continu ou encore d'échangeurs à fluides séparés. Dans certains types d'échangeurs, cette surface peut être perméable et permet la migration des espèces d'un côté vers l'autre, on parle alors d'échangeur de chaleur et de masse ou tout simplement de masse : membranes sélectives dans l'osmose inverse utilisées dans le dessalement d'eau de mer). On distingue deux catégories d'échangeurs continus :

##### **1. Les récupérateurs (transfert sans stockage) :**

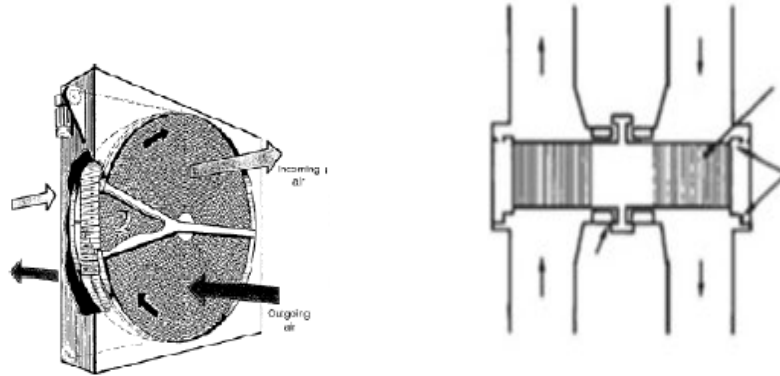
Ils constituent la majeure partie des échangeurs, la surface d'échange est en contacte continue avec les deux fluides (les fluides se trouvent de part et d'autre de cette surface) ce qui permet de récupérer de la chaleur d'une façon continue le long de l'échangeur (transfert de chaleur continu).

##### **2. Les régénérateurs (transfert avec stockage) :**

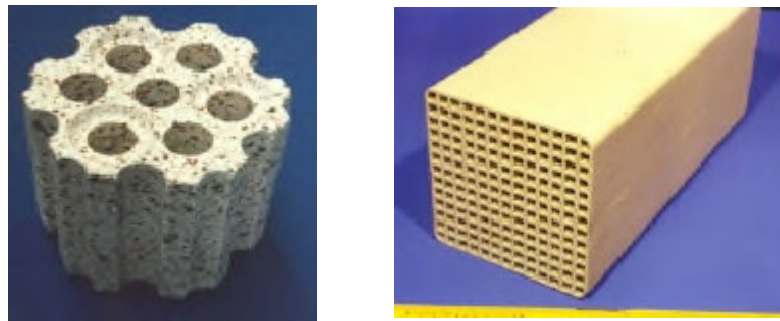
La surface est soit fixe et les fluides souvent deux circulent alternativement à travers celle-ci (régénérateur à matrice fixe), soit mobile ou rotative, là la surface d'échange (structure perméable) et tantôt en contact avec le fluide chaud, tantôt avec le fluide froid (régénérateur rotatif : échangeur rotative). Dans les deux cas, la surface stocke de la chaleur au passage (en



contacte) du fluide chaud et la restitue au passage (contacte) du fluide froid (le transfert de chaleur est intermittent). La surface de transfert de chaleur est généralement appelée la matrice du régénérateur. Ces échangeurs sont aussi appelés échangeurs discontinus.



**Figure I.1:** Echangeur rotatif (matrice mobile)



**Figure I.2:** Echangeur rotatif (matrice fixe)

#### **I.4.2 Suivant le sens d'écoulement**

Les échangeurs de chaleur peuvent être classés en fonction du chemin d'écoulement du fluide à travers l'échangeur de chaleur [4]. On distingue trois type :

##### **a. Courant parallèles**

Dans un échangeur à flux parallèle (également appelé co-courant ou flux parallèle co-courant), les flux de fluide entrent ensemble à une extrémité, le flux parallèles les uns aux autres dans le même sens, et partent ensemble à l'autre extrémité [5].

### b. Contre-courant

Dans un échangeur à contre-courant, les deux fluides s'écoulent parallèlement l'un à l'autre mais dans des directions opposées à l'intérieur du noyau [5]. Cela conduit à une efficacité thermique meilleure.

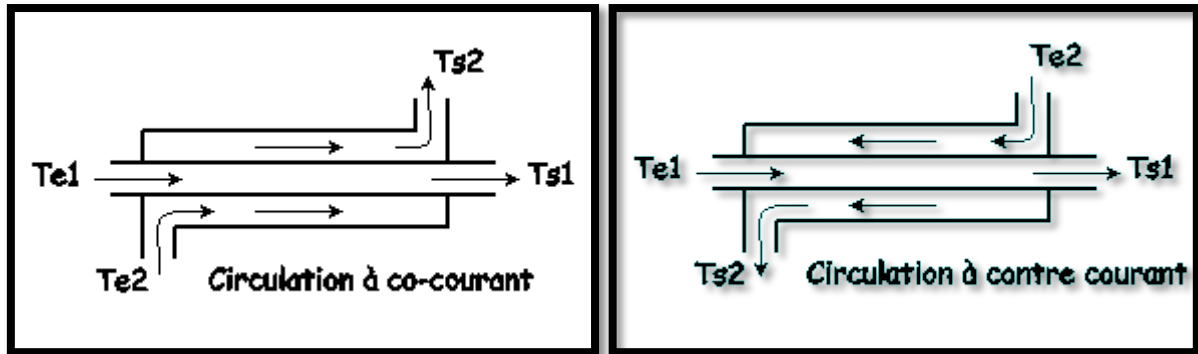


Figure I.3: Echangeur coaxial a) courant parallèle b) contre-courant

### c. Courant croisé

Dans ce type d'échangeur, les deux fluides s'écoulent dans des directions orthogonales ou perpendiculaires (normale) les unes aux autres. L'efficacité d'une telle configuration se situe entre celles des dispositions à co-courant et à contre-courant [5].

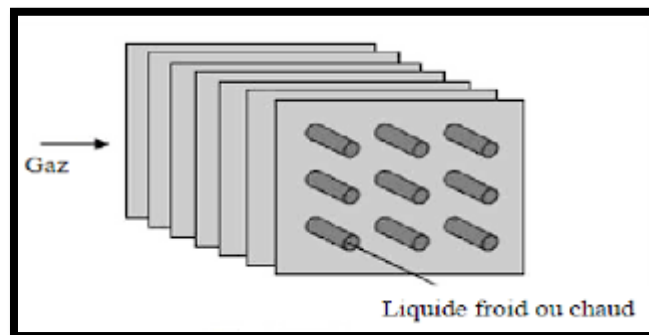


Figure I.4: Echangeur a courant croisé

## I.4.3 Suivant les type d'échange

### a. Echangeur 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. Echangeur avec changement de phase :

Les échanges avec changement de phase sont caractérisés par trois cas différents [4] :

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.5. Types des échangeurs

### I.5.1 Echangeurs tubulaires :

L'échangeur est constitué de tubes de différentes formes, circulaires, rectangulaires ou elliptiques. Ce type d'échangeur est le plus utilisé pour le transfert de chaleur. Il se divise en plusieurs catégories [3]

#### a. Echangeur tubulaire coaxial :

Il est constitué généralement de deux tubes circulaires concentriques dans lesquels circulent des fluides (à co-courant ou à contre-courant). Dans certains cas pour plus d'efficacité, on peut être en présence de plus de 2 de tubes concentriques (3 tubes) ce qui augmente considérablement la surface d'échange. [3]

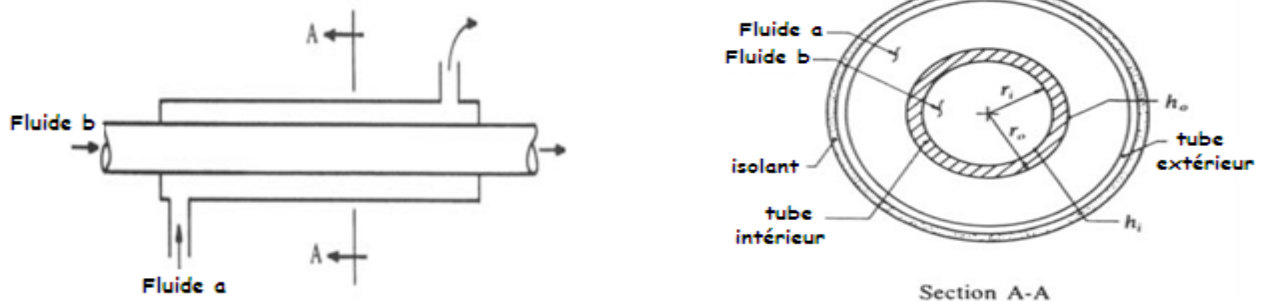


Figure I.5: Echangeur coaxial

### b. Echangeur à tube et calandre :

Ce type d'échangeur comporte une enveloppe composée d'un tube élargie (réservoir ou calandre) dans lequel sont disposés plusieurs tubes, faisceau tubulaire. Celui-ci peut rectiligne ou alors tordues en forme de U. Ces échangeurs sont normalisés suivant le nombre de passages d'un fluide dans la calandre (n) et le nombre de passage de l'autre fluide dans le faisceau tubulaire (N) : n-N. pour une meilleur efficacité de ces échangeurs, on place le long de la calandre des chicanes (déflecteurs de différentes formes) pour augmenter le temps de séjour du fluide dans la calandre en rallongeant son parcours ce qui permet aussi un meilleur mélange de l'écoulement en favorisant la turbulence et ainsi d'augmenter le coefficient d'échange convectif dans la calandre. .

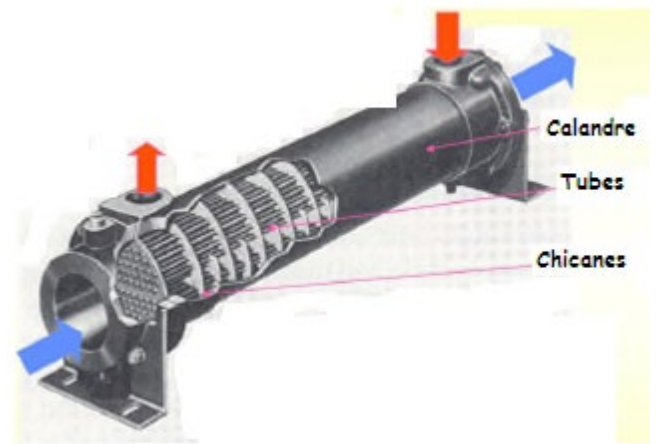
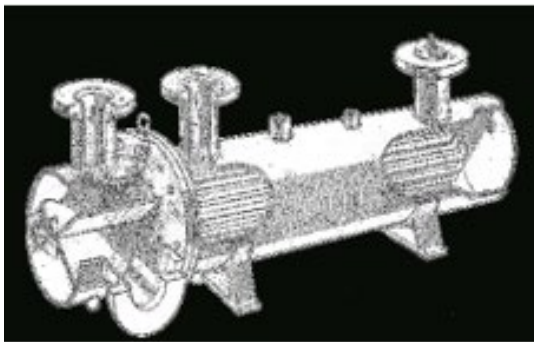


Figure I .6 : Echangeur tube et calandre

Tableau I.1 : avantages et inconvénients d'un échangeur de chaleur tube calandre

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilités de démontage et d'entretien.</li> <li>• Possibilité de fonctionner à contre-courant pur, ce qui permet d'obtenir de bons rendements.</li> <li>• Convenance aux produits impropres, agressifs ou incrustants.</li> <li>• Fonctionnement à des températures et à des pressions élevées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risque de fuites aux raccords.</li> <li>• Flexion du tube intérieur si la longueur est importante.</li> <li>• Comparativement aux autres types d'échangeurs, surface d'échange faible par rapport au volume global de l'appareil en raison du rayon minimal des coudes reliant les longueurs droites des tubes</li> </ul>

### c. Echangeur à tube spirale :

Le plus souvent une ou plusieurs bobines de tubes (section circulaire) enroulées en spirale sont disposées à l'intérieur d'une enveloppe. Ce type d'échangeurs permet un meilleur transfert de chaleur comparé au cas de tube rectiligne. On trouve aussi des tubes de section rectangulaires formées de deux plaques enroulées hélicoïdalement pour former une paire de canaux en spirale. Ces échangeurs sont utilisés pour des différences de pression et de température modérées. Pour un même flux à transférer, il est plus efficace que l'échangeur tubulaire mais moins efficace que celui à plaque.

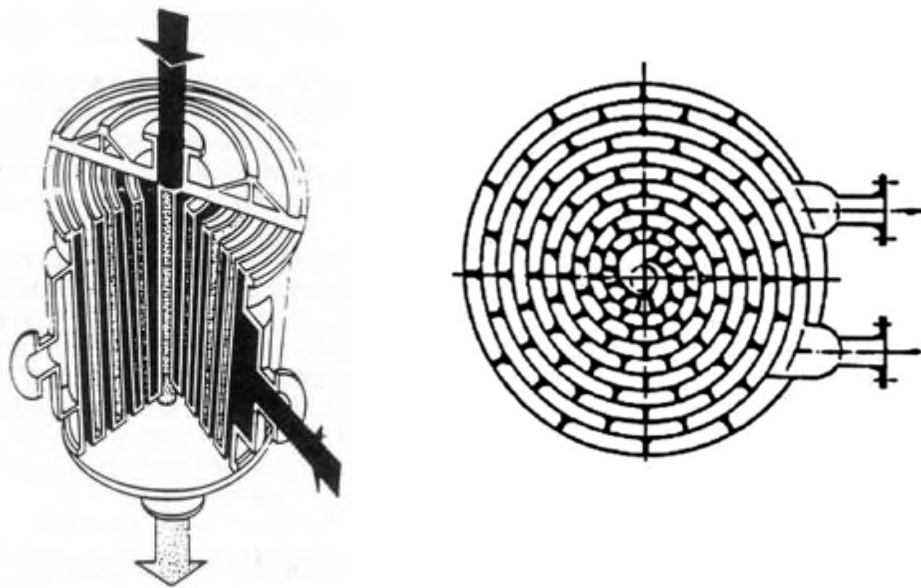


Figure I.7 : échangeur à spirale

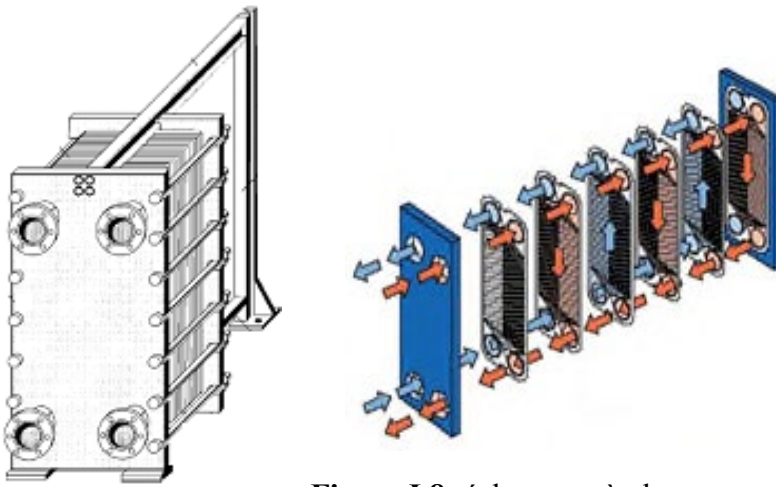
Tableau I.2 : Avantage et inconvénients d'un échangeur de chaleur spirale

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande surface de contact</li> <li>• Large passage</li> <li>• Encombrement réduit</li> <li>• Excellent condenseur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Non démontable</li> <li>• Ecart de température limités</li> </ul>

### I.5.2 Echangeurs à plaques

Dans ce type d'échangeurs, des plaques métalliques minces souvent déformées pour augmenter la surface d'échange (formées ou avec des reliefs) sont soit soudées, jointées, en

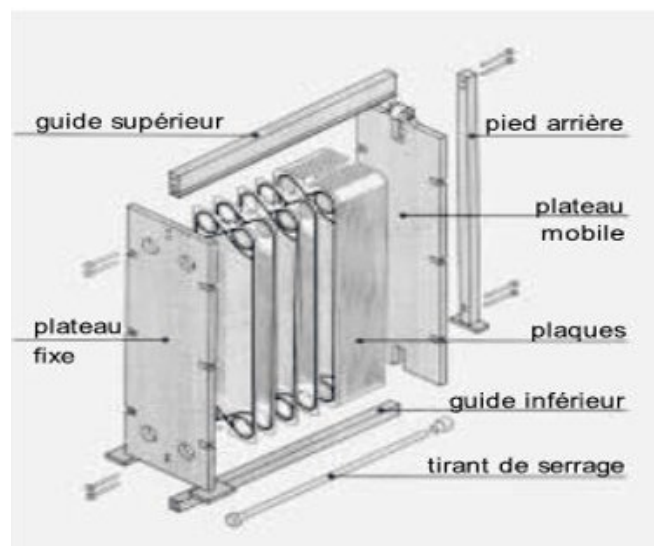
fonction de l'échangeur. L'espace entre plaque est très réduit ce qui les rend très compactes, offrent une grande surface d'échange pour un encombrement réduit.



**Figure I.8:** échangeur à plaque

**a. Echangeur à plaques et joints :**

On dispose d'un joint (caoutchouc) entre les plaques rectangulaires pour assurer l'étanchéité. Le tout est maintenu dans un cadre. Ils sont réservés pour l'industrie alimentaire (pasteurisation du lait). L'inconvénient, ils s'encrassent rapidement, et leurs nettoyages prend du temps vu le grand nombre de plaques assemblées



**Figure I.9 :** échangeur à plaques et joints

### b. Echangeur soudé :

Les plaques métalliques sont soudées, ce qui leur permet de supporter des pressions et des températures de travail plus élevées que ceux jointés. Généralement réservés pour des fluides de travail corrosifs, ils ne sont pratiquement pas démontables, et leur nettoyage nécessite des produits adéquats.

#### I.5.3 Echangeur de chaleur à surface ondulées à ailettes.

Dans certains cas, notamment les échangeurs où au moins l'un des fluides est un gaz (caractérisé par un coefficient d'échange convectif très faible), on a recours à l'augmentation de la surface d'échange pour augmenter leurs efficacités thermiques. Parmi les techniques les plus couramment utilisées pour augmenter la surface, il y a celle consistant à ajouter des ailettes de différentes formes (fixées, collées ou brassées). Ce qui permet une large gamme de températures et de pressions pour les échanges entre gaz-gaz, gaz-liquide et les fonctions multi-phases comme la liquéfaction de l'air.

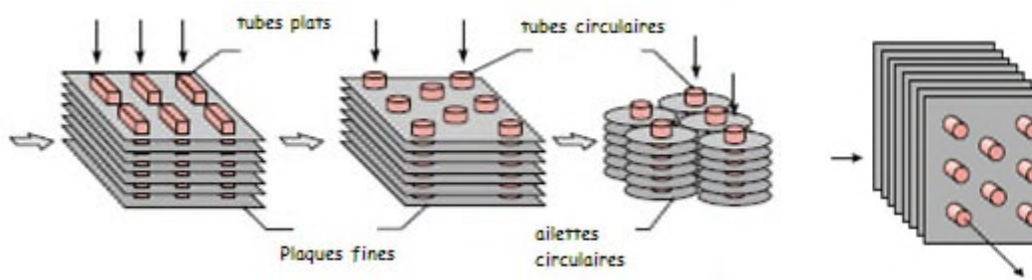


Figure I.10 : Ailettes planes et circulaires montées sur des tubes

### I.6. Encrassement

L'encrassement est défini comme la formation sur les surfaces de l'échangeur de chaleur de dépôts indésirables qui entravent le transfert de chaleur et augmentent la résistance à l'écoulement du fluide, entraînant une chute de pression plus élevée. La croissance de ces dépôts entraîne une diminution des performances thermo hydrauliques de l'échangeur de chaleur avec le temps. L'encrassement affecte la consommation d'énergie des processus industriels et détermine également la quantité de matériau supplémentaire nécessaire pour fournir une surface de transfert de chaleur supplémentaire afin de compenser les effets de l'encrassement [6].

### **I.6.1 Types d'encrassement**

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

Il s'agit du dépôt de particules transportées par l'écoulement des fluides industriels de provenance divers [7] :

- L'eau des chaudières contenant des produits corrosifs.
- Eaux des tours de refroidissement.
- Particules transportées par l'air.
- Ecoulement gazeux pouvant être fortement chargé de particules de poussière.

#### **b. Encrassement biologique**

Le dépôt ou la croissance d'un matériau d'origine biologique sur une surface de transfert de chaleur entraîne un encrassement biologique. Ces matières peuvent comprendre des micro-organismes (par exemple des bactéries, des algues et des champignons) et des macro-organismes (par exemple des algues, des plantes aquatiques et des bernaches). L'encrassement biologique est fréquemment rencontré lorsque l'eau de refroidissement est utilisée dans un état extrait d'une rivière, d'un lac, de la mer, des eaux côtières [3].

#### **c. Encrassement par solidification**

Lorsque la température de surface est inférieure à la température de solidification ou de congélation d'un ou plusieurs constituants présents dans le fluide, ces constituants se solidifient en surface conduisant à un encrassement de solidification. Un exemple est le dépôt de cire du pétrole brut dans les pipelines et les échangeurs de chaleur [3].

#### **d. Encrassement par réaction chimique**

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. Ce type d'encrassement est souvent lié aux réactions de polymérisation produisant la formation d'un dépôt. Les domaines concernés sont essentiellement l'industrie pétrochimique (craquage thermique des hydrocarbures lourds), l'industrie agroalimentaire (pasteurisation de lait) et les circuits de chauffage utilisant des fluides organiques [7].

#### **e. Corrosion**

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 permettant de produire des particules (oxyde) provoquant l'encrassement particulaire [7].

#### **f. Entartrage**

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. Il reflète le déplacement de l'équilibre



calco-carbonique de l'eau dans le sens de production de tartre en raison de la dureté de l'eau et de l'augmentation de température. L'entartrage peut se produire dans les échangeurs refroidis à l'eau, dans les unités de dessalement d'eau de mer, dans les chaudières, dans les échangeurs de l'industrie agroalimentaire, dans les systèmes géothermiques [7].



**Figure I.11:** Exemple d'encrassement

### I.6.2 Paramètres influençant l'encrassement

- -La vitesse d'écoulement du fluide d'alimentation.
- -La concentration de la matière encrassant.
- -La température de la surface d'échange.
- -Etat de surface rugosité ; Corrosion.

**Tableau I.3:** Résistance d'encrassement pour quelques fluides les plus utilisés

Fluides	Valeurs moyennes de $Re$ ( $m^2 K / W$ )
Eau de mer $T < 50$ °C	$10^{-4}$
Eau de mer $T > 50$ °C	$2.10^{-4}$
Eau de rivière << Sale >>	10 à $20.10^{-4}$
Eau industrielle	$2.10^{-4}$
Vapeurs non grasses	$10^{-4}$
Air industriel	$4.10^{-4}$
Liquide réfrigérant	4 à $6.10^{-4}$
Gas-oil	$2.10^{-4}$

**I.7. Conclusion**

L'existence, et l'utilisation des échangeurs de chaleur dans nombreuses applications et différents domaines industriels, est à cause de leurs importances dans les unités de production. Il est nécessaire d'assurer une bonne amélioration du rendement. La présentation de l'échangeur de chaleur à plaques et les méthodes de calculs feront l'objet du chapitre suivant.

# **Chapitre II**

## **Théorie des échangeurs de chaleur à plaques**

## II.1. Introduction

Le dimensionnement d'un échangeur de chaleur, quelle que soit sa nature ou sa technologie, repose sur une série de propriétés thermodynamiques clés. Ces propriétés jouent un rôle crucial dans la conception et la performance des échangeurs de chaleur. Ce chapitre a pour objectif de présenter les différentes formules utilisées pour le dimensionnement des échangeurs de chaleur. Nous examinerons en détail les principaux paramètres qui influencent le dimensionnement.

## II.2. Etude d'un échangeur de chaleur

Dans l'étude d'un échangeur de chaleur, l'objectif est d'obtenir une puissance d'échange spécifique en minimisant à la fois la surface d'échange et les pertes de charge. En d'autres termes, il s'agit de trouver le meilleur compromis entre le coût d'investissement et d'exploitation. Cependant, certaines contraintes telles que l'encombrement, le poids, la corrosion et la normalisation viennent complexifier le problème. Ainsi, les paramètres disponibles sont souvent plus nombreux que les équations disponibles pour résoudre le problème. De plus, certains impératifs sont essentiellement technologiques ou économiques, ce qui signifie qu'ils sont souvent qualitatifs, voire arbitraires, et parfois même contradictoires. Cette situation nécessite donc de trouver des compromis adéquats.

## II.3. Bilan énergétique de base et équations de conception

Dans tous les échangeurs de chaleur à plaques, les trois dispositions d'écoulement primaires pour les courants de fluide chaud et froid sont généralement rencontrées : (1) disposition à écoulement parallèle avec deux courants de fluide s'écoulant dans la même direction ; (2) arrangement à contre-courant avec deux flux de fluide circulant dans des directions opposées ; et (3) les fluides circulent selon des directions orthogonales sur la longueur d'écoulement.

L'application de la première loi de la thermodynamique sur le volume de contrôle de tout échangeur de chaleur à deux fluides fournit le bilan énergétique global suivant [3] :

$$Q = C_c (T_{ce} - T_{cs}) \quad (\text{II.1})$$

$$Q = C_f (T_{fs} - T_{fe}) \quad (\text{II.2})$$

où  $C$  est le débit de capacité calorifique du qui peut être calculé en multipliant le débit massique du fluide ( $M$ ) par sa capacité calorifique spécifique  $C_p$ .

Le flux de chaleur total est donné par :

$$\Phi = U S \Delta TLM \quad (\text{II.3})$$

Où  $U$  est le coefficient de transfert de chaleur global. Et  $S$  est la surface d'échange totale.

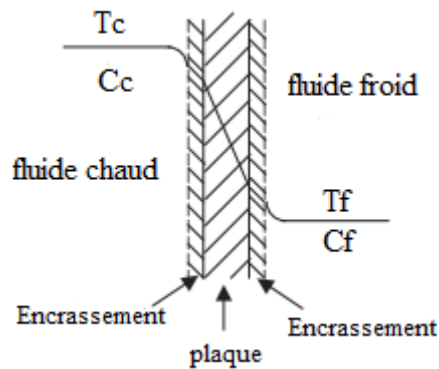
### II.3.1 Coefficient d'échange global

Le coefficient global de transfert de chaleur dans un échangeur de chaleur à plaques dépend des coefficients de transfert de chaleur par convection ou des résistances qui en découlent dans les deux flux de fluides, ainsi que des résistances à l'encrassement et de la résistance thermique due à la conduction à travers l'épaisseur de la plaque. Ceci est schématiquement illustré à la Figure II.1. Il convient de noter que la superficie de l'échangeur reste inchangée [3].

Le coefficient d'échange global est donné sous la formule suivante :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_f} + \frac{e}{\lambda} + R_{ec} + R_{ef} \quad (\text{II.4})$$

$h_c$  Et  $h_f$  sont les coefficients de transfert de chaleur du fluide chaud et froid respectivement,  $e$  est l'épaisseur de la plaque,  $\lambda$  est la conductivité thermique du matériau de la plaque, et  $R_{ec}$ ,  $R_{ef}$  sont les résistances à l'encrassement sur les surfaces de la plaque sur les côtés chaud et froid du flux de fluide, respectivement.



**Figure II 1:** Eléments de la résistance thermique globale d'un échangeur à plaques

## II.4. Méthode de conception thermique

Pour effectuer une analyse thermique ou de transfert de chaleur de tout échangeur de chaleur, certaines des principales techniques incluent les méthodes DTLM,  $\epsilon$ -NTU. Ces méthodes sont largement appliquées dans la pratique. Ces méthodes de conception sont intrinsèquement basées sur les simplifications et idéalizations [3] :

- Toutes les propriétés physiques sont constantes dans l'échangeur.
- La perte de chaleur vers l'environnement extérieur à l'échangeur est négligée.
- Pas de changement de phase au cours de transfert (condensation ou évaporation).
- Distribution uniforme de la température et du débit de fluide à chaque passage du L'échangeur.

- Flux radiatif négligé, les transferts se font par conduction et convection

### II.4.1 Notion de la différence de température moyenne logarithmique :

Les températures des fluides, dans un échangeur de chaleur, ne sont pas en général constantes, mais elles varient d'un point à un autre à mesure que la chaleur s'écoule du fluide le plus chaud vers le fluide le plus froid.

Le taux de transfert de chaleur à travers un élément de surface différentielle  $dS$  le long de la longueur de l'échangeur peut être exprimé comme :

$$d\Phi = U dS \Delta T = U dS (T_c - T_f) \quad (\text{II.5})$$

Cette équation différentielle peut alors être intégrée sur toute la surface de transfert de chaleur  $S$  sur la longueur de l'échangeur. On peut noter ici que le coefficient de transfert thermique global  $U$  est considéré comme constant [3]. De plus, un bilan énergétique sur une surface différentielle  $dS$  donne :

$$d\Phi = -C_c dT_c = \pm C_f dT_f \quad (\text{II.6})$$

Où  $C_c$  et  $C_f$  sont les débits thermiques respectifs des flux de fluide chaud et froid. Ainsi, pour une disposition à contre-courant, on obtient :

$$d(T_c - T_f) = dT_c - dT_f = \left( \frac{1}{C_f} - \frac{1}{C_c} \right) d\Phi \quad (\text{II.7})$$

La substitution de l'équation (II.5) dans l'équation (II.7) donne :

$$\frac{d(T_c - T_f)}{T_c - T_f} = U \left( \frac{1}{C_f} - \frac{1}{C_c} \right) dS \quad (\text{II.8})$$

Qui peut être intégré sur toute la longueur du l'échangeur pour donner :

$$\log \frac{T_{Cs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fs}} = U S \left( \frac{1}{C_f} - \frac{1}{C_C} \right) \quad (\text{II.9})$$

Or

$$T_{Cs} - T_{fe} = (T_{ce} - T_{fs}) \exp \left( U S \left( \frac{1}{C_f} - \frac{1}{C_C} \right) \right) \quad (\text{II.10})$$

De même pour la disposition à flux parallèle, l'expression suivante est obtenue :

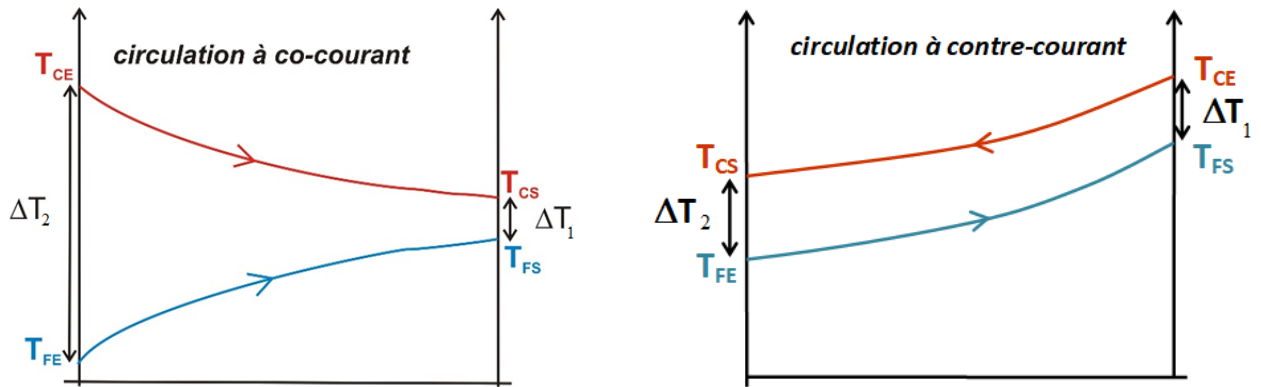
$$T_{Cs} - T_{fs} = (T_{ce} - T_{fe}) \exp \left( U S \left( \frac{1}{C_f} + \frac{1}{C_C} \right) \right) \quad (\text{II.11})$$

En notant que  $Q = C_C (T_{ce} - T_{Cs}) = C_f (T_{fs} - T_{fe})$ , la charge thermique totale Q de l'échangeur peut être calculée comme :

$$\Phi = U S \frac{(T_{ce} - T_{fs}) - (T_{Cs} - T_{fe})}{\log \frac{(T_{ce} - T_{fs})}{(T_{Cs} - T_{fe})}} = U S \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\log \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (\text{II.12})$$

Où  $\Delta T_1$  est la différence de température entre les flux de fluide chaud et froid à une extrémité, et  $\Delta T_2$  la différence de température à l'autre extrémité, comme indiqué sur la figure (II.1) et la comparaison de l'équation (II.12) avec l'équation (II.3) suggère clairement que la différence de température moyenne appropriée entre les flux de fluide chaud et froid sur toute la longueur de l'échangeur de chaleur peut être exprimée par :

$$\Delta TLM = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (\text{II.13})$$

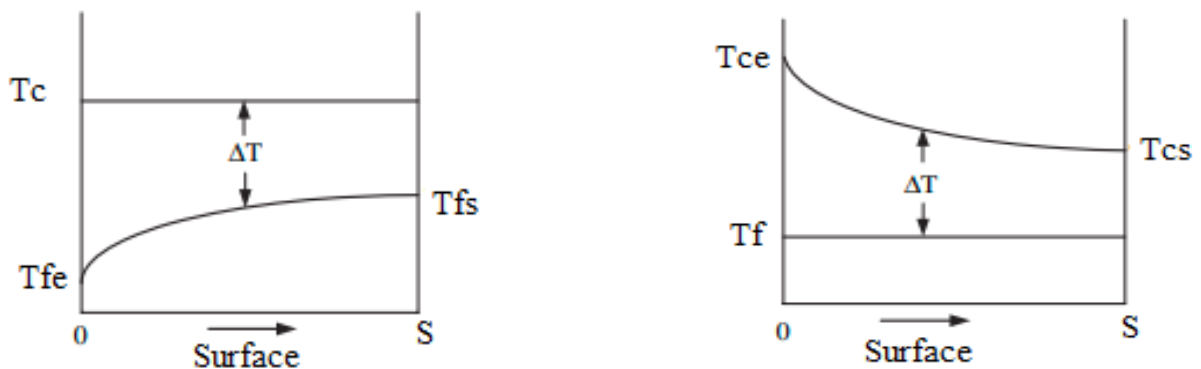


**Figure II 2:** Distribution de température a) Co courant b) contre-courant

- **Cas particuliers** (Echangeurs avec changement de phase a température constante).

Les échangeurs avec changement de phase à température constante sont caractérisés par un rapport des débits calorifiques  $C^* = 0$ . Ils sont deux types :

- Condenseurs :  $(mC_p)_{\min} \rightarrow \infty$   $c^* = (mC_p)_{\min} / (mC_p)_{\max} = 0$
- Evaporateurs :  $(mC_p)_f \rightarrow \infty$   $c^* = (mC_p)_{\min} / (mC_p)_{\max} = 0$



**Figure II 3 :** Distribution de température a) évaporateur, b) condenseur.



### II.4.2 Méthode de nombre d'unité de transfert

Une méthode plus simple à utiliser, et surtout plus générale, est la méthode du NUT, ou Nombre d'Unités de Transfert, développée par Kays et London. Par définition, NUT est défini comme le rapport entre le produit  $US$  de l'échangeur et le débit de capacité thermique minimal.

$$NUT = \frac{US}{C_{\min}} \quad (\text{II.15})$$

### II.4.3 Efficacité de l'échangeur $\varepsilon$

L'efficacité de l'échangeur de chaleur  $\varepsilon$  est définie comme le rapport du flux réel de transfert de chaleur dans un échangeur au flux maximale qui serait transférer dans un échangeur de chaleur.

- Taux de capacité [4] :

$$C^* = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \quad (\text{II.16})$$

- Efficacité de l'échangeur [4] :

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} \quad (\text{II.17})$$

Le flux réel :  $Q = (mC_p)_c (T_{ce} - T_{cs}) = (mC_p)_f (T_{fs} - T_{fe})$

Le flux max :  $Q_{\max} = (mC_p)_{\min} (T_{ce} - T_{fe})$

Les expressions  $\varepsilon$ -NUT ont été développées pour les échangeurs de chaleur ayant une configuration contre-courant, et courant parallèle [4]. Les résultats représentatifs sont résumés dans le tableau (II.1) :

Soit :

$$c^* = \frac{(mC_p)_{\min}}{(mC_p)_{\max}} \quad : \text{Le rapport des capacités thermiques.}$$

-Pour une configuration contre-courant :

- Si  $c^* < 1$  :

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NUT(1 - c^*)]}{1 - c^* \exp[-NUT(1 - c^*)]}$$

- Si  $c^* = 0$  :

$$\varepsilon = 1 - \exp(-NUT)$$

-Pour une configuration co-courant :

- Si  $c^* < 1$  :

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NUT(1 + c^*)]}{1 + c^*}$$

**Tableau I.1** : Expression de  $\varepsilon$ -NUT

Les expressions de $\varepsilon$ -NUT			
Type d'échangeur de chaleur	$\varepsilon (NUT, C^*)$	NUT ( $\varepsilon, C^*$ )	$C^*=0$
Contre-courant	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NUT(1 - c^*)]}{1 - c^* \exp[-NUT(1 - c^*)]}$	$NUT = \frac{1}{1 - c^*} \ln \frac{1 - \varepsilon c^*}{1 - \varepsilon}$	
	$\varepsilon = 1 - \exp(-NUT)$		
Co courant	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NUT(1 + c^*)]}{1 + c^*}$	$NUT = -\frac{1}{1 + c^*} \ln(1 + \varepsilon(1 + c^*))$	
	$\varepsilon = 1 - \exp(-NUT)$		

## II.5. Estimation du coefficient par convection

Le problème de la convection est en fait de déterminer en fonction des conditions d'écoulement du fluide, des caractéristiques géométriques des parois et des éventuels changements d'état du fluide [8].

En raison du grand nombre d'expériences nécessaires, il est difficile de déterminer le coefficient  $h$  pour chaque expérience. L'analyse dimensionnelle simplifie grandement ce problème. On définit donc trois nombres sans dimension :

- Nombre de Reynolds :  $Re = Ul/\nu = \rho Ul/\mu$
- Nombre de Prandtl :  $Pr = \nu/\alpha = \mu C_p/\lambda$
- Nombre de Nusselt :  $Nu = hl/\lambda$

## II.6. Pertes de charges

La perte de charge totale qui apparaît lors de l'écoulement d'un fluide à travers un échangeur à plaques et joints se décompose en deux parties : pertes de charge dans les plaques et pertes de charge dans les tubulures d'alimentation. En général on considère que les dimensions des tubulures sont suffisamment importantes pour que les pertes de charges y soient négligeables devant celles des plaques. La perte de charge d'un fluide en écoulement isotherme dans une plaque ( $\Delta P$ ) entre les collecteurs d'entrée et de sortie, dépend de nombreux paramètres tels que la densité, la viscosité, la vitesse du fluide, ainsi que la géométrie des plaques.

En considérant le diamètre hydraulique moyen ( $D_h$ ) comme dimension caractéristique du canal et ( $L$ ) la longueur de la plaque, la perte de pression peut s'écrire comme suit :

$$\Delta P = \Delta P_{\text{Collecteur}} + 4.f \frac{\rho L U^2}{D_h 2} \quad (\text{II.18})$$

## II.7. Conclusion

Ce chapitre a été consacré à l'exploration des diverses méthodes et formules de calcul utilisées pour dimensionner les échangeurs de chaleur. Ces éléments constituent l'essence même du chapitre suivant.

# **Conclusion Générale**

## Conclusion générale

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, les performances de la configuration de l'échangeur à plaque ALFA LAVAL de l'entreprise CEVITAL qui est installé à la cogénération Unité énergie a été étudié via l'analyse énergétique de l'échangeur. Ce travail, a déterminé une grande partie les différents paramètres thermiques, d'un échangeur de chaleur à plaque, à partir des données réelles de l'Installation. L'étude menée dans ce travail est basée sur une méthodologie de dimensionnement d'échangeurs de chaleur à plaque dans les industries agroalimentaires.

Les calculs de vérification thermique nous ont permis d'évaluer la surface et le coefficient de transfert global d'échange thermique.

Cette étude nous a permis de découvrir le domaine industriel, en traitant un sujet réel, posé par les responsables de la cogénération de l'unité énergie de Bejaia, et d'élargir nos connaissances déjà acquise durant notre cursus universitaire.

# **Références Bibliographiques**

## Références Bibliographiques

- [1]. fr.Scribd.com/les échangeurs de chaleur
- [2]. M.moussa,J.Marie PERRIERCORNET.echangeur de chaleur :echangeur Tubulair et [echangeur à surface raclée,JEAN CASTAING LASVINOTTES 2002
- [3]. Wang, L., Sundén, B. and Manglik, R.M. (2007) Plate Heat Exchangers: Design,
- [4]. Sadik Kakaç, Hongtan Liu, Anchasa Pramuanjaroenkij, Heat exangers selection, rating, and thermal design, 3th édition. Sadik & Kakaç. Heat exchangers. Sélection, rating, and thermal design. CRC Press.
- [5] Shah, Ramesh K, et Dusan P Sekulic. 2003. Fundamentals of heat exchanger design. John Wiley & Sons, 976 p
- [6] Kuppan Thulukkanam, Heat Exanger Design Handbook .MARCEL DEKKER, INC. NEW YORK
- [7] BENNAJAH Mounir. Echangeurs de chaleur. Technologie, calcul et design. Editions TECHNIP.2014.
- [8]. FRANCK KREITH, « Transmission de chaleur et thermodynamique », 1967

# **ANNEXES**



### Annexe A : fiche technique de l'échangeur

**BATI MOBILE**  
MOBILE  
SOLÉNOÏDE  
14/11/10

**17741 N V**

**4736 N V** CHARGES SUR ANCRAGES

**BATI FIXE**  
FIXE

**13056 N**  
LARGEUR  
1440 (104)

**1440**  
HAUTEUR  
1000

P.C.C. / ENTRÉE / TEMP.		SORTIE / TEMP.		DIÉRT.		N. DE SÉRIE /	
1	54	170 °C	81	80 °C	18000 mm	146-075	03.11
2	64	85 °C	58	150 °C	18000 mm	146-8476	02.11

REMARQUES: CIRCUIT 1 CIRCUIT 2

	CIRCUIT 1	CIRCUIT 2
PRESSION DESEIN	14,3 bar	14,3 bar
PRESSION DE CALDA	10 bar	10 bar
MIN PRESS. DE CALDA	0 bar	0 bar
TEMP. MAX	170 °C	170 °C
TEMP. MIN	0 °C	0 °C
POIDS A VIDE	908 kg	

POIDS THRUSTE: 18660 kg

JOINT: EPDM 030-07

MATIERE DES PLAQUES: ALLOY 216

EPAIS. DES PLAQUES: 0,5 mm

SURFACE DES PLAQUES: 48 m²

DISPLACEMENT: 118 MM/16 ML

POIDS REPLEN. DEAU: 903 kg

**CONDICIONES DE MONTAJE:**

CODE	PRELUCIO
1	Y=100
2	Y=100

POUR UN SEUL REP.  
OM. SCL. K22-08773-10

**CHARGEUR DE CHALEUR A PLAQUES**

**TL10-PFG**

REPRESENTANT CLIENT  
IMS INTERNATIONAL MECHANICAL SUPPLY LTD

CE

SERIAL NUMBER  
20176-02089

DATE  
2012-08-18

M. U.

**Annexe B : condition opératoire d'échangeur à plaque**

---

Unité	
<b>Surface maximale d'échange</b>	<b>1540m<sup>2</sup></b>
<b>Nombre maximale de plaques</b>	<b>Jusqu'à 700</b>
<b>Diamètre maximal des orifices</b>	<b>Jusqu'à 39 cm</b>

---

Plaque	
<b>Epaisseur</b>	De 0.5 à 1.2mm
<b>Surface d'une plaque</b>	De 0.03 à 2.2m <sup>2</sup>
<b>Espacement entre deux plaques</b>	De 1.5 à 5mm

---

Condition opératoire	
<b>Pression de travail</b>	De 1à15 bar
<b>Température</b>	De 40-à 260°C
<b>Vitesse par canal (entre plaque)</b>	Peut attendre 5m/s
<b>Débit par canal</b>	De 0.05 à 12.5m <sup>3</sup> /h

---

Performance	
<b>Différence de T entre fluides</b>	Attendre1°C
<b>Chaleur récupérer</b>	Depasse 90%
<b>Coefficient global</b>	De 3000 à 5000 W/m <sup>2</sup> °C
<b>NUT</b>	De 0.4 à 4

---

## **Résumé**

Dans les sociétés industrielles l'échangeur de chaleur est un élément essentiel pour la maîtrise de l'énergie. Dans ce travail nous avons étudié numériquement le dimensionnement d'un échangeur de chaleur à plaque à contre-courant, nous avons développés une méthode pour calculé la surface d'échange pour comparer nos résultats aux surface proposé par les constructeurs. Les résultats obtenus pour vérifier la fiabilité de notre modèle par rapport aux données réelles de constructeur.

**Mots clés : Echangeur de chaleur, l'eau, la surface, coefficient de transfert global**

---

## **Abstract**

In industrial societies, the heat exchange ris an essential element for energy management. In this work we have studied numerically the dimensioning of a plate heat exchanger against the current , we have developed a methode to calculate the exchanger surface to compare our results with the surface proposed by the manufacturers. The results obtained to check the reliability of our model compared to real manufacturer data.

**Keywords: heat exchanger, water, surface,global transfer coefficient**