

N° d'ordre :  
N° de série :



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA**  
**RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE D'EL-OUED**  
**FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE**  
**Département D'mécanique**

**Mémoire de fin d'étude présenté Pour l'obtention du diplôme de**

## **LICENCE ACADEMIQUE**

Domaine : **Sciences et techniques**  
Filière : **mécanique**  
Spécialité : **mécanique énergétique**

Présenté par :

**Zairi Mostafa Amine**

**Berretima Saddam**

**Bettahar Ahmed**

### **ETUDE COMPORTEMENT THERMIQUE D'UN ÉCHANGEUR DE CHALEUR**

Déposé le 04-06- 2014

Au niveau du jury composé de :

M.	.....	MA	Président
M.	.....	MA	Examineur
M.	<b>Meneceur Nouredine</b>	MA	Directeur du mémoire

**2013-2014**

# *Remerciement*

*Je remercie tout d'abord Dieu le tout puissant de m 'avoir donné le courage, la force et la patience d'achever ce modeste travail.*

*Je tiens à remercier très chaleureusement, Monsieur **MENECEUR NOUREDDINE** qui m 'a permis de bénéficier de son encadrement.*

*Je tiens à remercier également, tous ceux qui ont participé de près ou de loin au bon déroulement de cette recherche.*

# *DÉDICACE*

*Je dédie ce travail à :*

*A celle qui a inséré le goût de la vie et le sens de la  
responsabilité....merci MÈRE.*

*A celui qui a été toujours la source d'inscription  
et de courage ....merci PÈRE.*

*A mes frères et mes sœurs.*

*A mes amis de la promotion.et a tous mes amis surtout*

*YOUNES , Mi3o , Mohammed , Salim , Faouzi*

*Saddam*

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail à :*

*A celle qui a inséré le goût de la vie et le sens de la  
responsabilité....merci MÈRE.*

*A celui qui a été toujours la source d'inscription  
et de courage ....merci PÈRE.*

*A mes frères et mes sœurs.*

*A mes amis de la promotion.et a tous mes amis surtout*

*AHMED , DJAAFAR , MASAOUD*

*AHMED*

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail à :*

*A celle qui a inséré le goût de la vie et le sens de la  
responsabilité....merci MÈRE.*

*A celui qui a été toujours la source d'inscription  
et de courage ....merci PÈRE.*

*A mes frères et mes sœurs.*

*A mes amis de la promotion.et a tous mes amis surtout*

*HOUSSEM , HICHAM , BACHIR, ABDELLEAH*

*Mostafa Amine*

## Résumé

Dans un échangeur, la chaleur est transmise d'un fluide à un autre. Le même fluide peut conserver son état physique (liquide ou gazeux) ou se présenter successivement sous les deux phases (cas des condenseurs et des évaporateurs).

Le présent mémoire consiste à étudier les caractéristiques des échangeurs de chaleur de façon générale (principe de fonctionnement, types d'écoulement, types de contacts, problèmes de fonctionnement, aussi la présentation de ces différents types avec leurs conception, leurs avantages et inconvénients plus les différents méthodes de calcul existants (DTLM, NUT).

Le bilan thermique nous a permis de mettre en évidence l'influence des paramètres physiques des fluides et l'évolution de la température de sortie du fluide le long de l'échangeur et de la puissance d'échange en utilisant deux fluides différents à savoir l'eau et l'air.

Et enfin nous utilisons le programme "MATLAB" pour le calcul des équations thermiques. à partir de ces résultats on dessiné les diagrammes.

**Mots clés :** Flux de chaleur, échangeur de chaleur, température, fluide, débit.

## Summary

In an interchange, warmth is transmitted from a fluid to other one. The same fluid can keep its physical state (liquid or gaseous) or come successively under both stages (case of condensers and evaporators).

The present memory consists in studying the characteristics of heat exchangers generally speaking (principle of functioning, types of flow, types of contacts, problems of functioning, also the presentation of these different types with their comprehension, their advantages and inconvenient more different methods of existent counting (DTLM, NUT)

The thermal balance sheet allowed us to put in an obvious place the influence of the physical parameters of fluids and materials the evolution of the temperature of exit of fluid along the interchange and potency of exchange by using two different fluids to know water and air.

At last , we use the program "MATLAB" for counting thermal equation . Starting from this results we drown diagrams.

**Key words:** Flux of warmth, heat exchanger, temperature, fluid, debit side,

## المخلص

في مبدلة حرارية نجد أن الحرارة تتحول من مائع إلى آخر. المائع يحافظ على حالته الفيزيائية (غازية أو سائلة) أو يظهر على الحالتين (مكثف أو مبخر).

هذه المذكرة تختص بدراسة خصائص مبدلة حرارية بصفة عامة (مبدأ عملها، أنواع جريان المائع، أنواع التلامس، المشاكل المعيقة لعمله، كذلك وصف لأنواع مبادلات حرارية تركيباتها، مميزاتها و عيوبها زيادة على مختلف الطرق لحساب مبدلة حرارية (د ط ل م، ن و ط).

ونضع الحوصلة الحرارية من أجل الحصول على تأثير بعض العوامل على درجة الحرارة الماء المائع عند خروجه من المبدلة الحرارية و الطاقة المتبادلة مستعملين المائعين الماء و الهواء

و في الأخير استعملنا برنامج ماتلاب في حساب معادلات حرارية ومن خلال هذه النتائج قمنا برسم المنحنيات.

**الكلمات المفتاحية :** كمية الحرارة ، درجة الحرارة ، مائع ، مبدلة حرارية ، التدفق.



## Nomenclature :

### ***Symbole***

#### ***Unité***

$C_p$  : La capacité calorifique  $J / KgK$   
 $D$ :Diamètre de tube  $m$   
 $U$ :Coefficient d'échange global. $W / m^2 K$   
 $F$ : Facteur correctif  
 $e$  :Épaisseur de la paroi d'échange  $m$   
 $h$ : Coefficient de convection  $W / m^2 K$   
 $L$ : Longueur caractéristique  $m$   
 $\dot{m}$  :Débit massique de fluide  $Kg / s$   
 $NuT$ : Nombre d'unité de transfert.  
 $P$  :Puissance d'échange  $KW$   
 $\Delta P$  :Perte de pression  
 $\Delta P_a$ :Perte de pression unitaires  
 $\Delta P_{ref}$ :Perte de pression relative à la référence  
 $P_r$ :Nombre de Prandtl  
 $r$  : Rayon du tube  $m$   
 $Re$ :Nombre de Reynolds  
 $S$ :Surface d'échange  $m^2$   
 $T$ :Température  $K$   
 $T_{lim}$ :Température du limut  $K$   
 $V$ :Vitesse moyenne du fluide  $m / s$   
 $x, y, z$ :Variable d'espace

### ***Lettre grecques***

$\lambda$ :Conductivité thermique  $W / m.^\circ C$   
 $\rho$  : Masse volumique  $Kg / m^3$   
 $\mu$ :La viscosité dynamique  $Kg / ms$   
 $\Phi$ :Flux de chaleur  
 $\varepsilon$ : Emissivité thermique du matériau  
 $\mu$ :La viscosité cinématique  $m^2 / s$   
 $\sigma$  : Constante de Stefan  $W / m^2 .K^2$   
 $q$  : La densité de flux de chaleur émis par le corps  $W / m^2$

### ***Indice :***

$a$ :Le fluide a  
 $b$ : Le fluide b  
 $c$ :Chaud  
 $e$ :entrée  
 $f$ :Froid  
 $s$  :sortie

## *LISTE DES FIGURES*

<b>Figure I.1 :</b> Echangeurs de chaleur.....	<b>2</b>
<b>Figure I.2 :</b> Classification suivant le type de constructeur .....	<b>6</b>
<b>Figure 1.2.a :</b> éclatée d'un échangeur.....	<b>6</b>
<b>Figure I.2.b :</b> échangeur a plaque .....	<b>7</b>
<b>Figure I.2.c :</b> Échangeur lamellaire.....	<b>7</b>
<b>Figure I.2.d :</b> Echangeur à tubes et calandre.....	<b>7</b>
<b>Figure I.2.e :</b> Échangeur brasé.....	<b>7</b>
<b>Figure 3 :</b> Distribution des températures dans des échangeurs à un seul Passage ( <b>Type double tube</b> ).....	<b>9</b>
<b>Figure II.1 :</b> Evolution des températures du fluide chaud et du fluide froid le long d'un échangeur Co-courant .....	<b>16</b>
<b>Figure II.2 :</b> Evolution des températures du fluide chaud et du fluide froid le Long d'un échangeur contre courant.....	<b>17</b>
<b>Figure II.3 :</b> Schéma de deux types d'échangeurs à courants croisés.....	<b>18</b>
<b>Figure III.1 :</b> Variation des températures des fluides chaud et froide à l'entrée en fonction des températures chaude et froide à la sortie pour la configuration à contre courant.....	<b>22</b>
<b>Figure III.2 :</b> Variation des températures des fluides chauds à l'entrée en fonction de la puissance totale perdue pour la configuration à contre courant.....	<b>23</b>
<b>Figure III.3 :</b> Variation de la moyenne logarithmique de température en fonction de la surface d'échange. Lorsque $T_{ce} = 400$ k, et $T_{fe} = 283$ k.....	<b>24</b>
<b>Figure III.4 :</b> Variation des températures des fluides chaud et froid en fonction de la surface d'échange pour un échangeur de configuration à contre courant.....	<b>25</b>
<b>Figure III.5 :</b> Variation de la moyenne logarithmique de température sur la surface d'échange pour un échangeur de configuration à contre courant.....	<b>25</b>
<b>Figure III.6 :</b> Variation des températures de fluides chaud et froid à la sortie en fonction de débit massique de fluide froid à l'entrée .....	<b>26</b>
<b>Figure III.7 :</b> Variation de la moyenne logarithmique de température en fonction de la température de fluide chaud à l'entrée .....	<b>27</b>
<b>Figure III.8 :</b> Variation de la moyenne logarithmique de température en fonction de la surface d'échange.....	<b>27</b>

## *LISTE DES TABLEAU*

<b>Tableau (II.1) :</b> valeurs grossières du coefficient d'échange global [W/m <sup>2</sup> K] .....	<b>20</b>
<b>Tableau III.1 :</b> <i>Résultats de simulation lorsque S=10 m<sup>2</sup></i> .....	<b>21</b>
<b>Tableau III.2 :</b> Résultats de simulation lorsque S variable.....	<b>22</b>

# SOMMAIRE

<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Chapitre I : Généralités sur les échangeurs de chaleur</b>	
I.1 Introduction.....	2
I.2 Historique des changements de chaleur.....	3
I.3 Le principe de fonctionnement.....	3
I.4 Classification des échangeurs de chaleur.....	4
I.4.1 Classement technologique.....	5
I.4.2 Classement suivant le mode de transfert de chaleur.....	5
I.4.3 Classement suivant le procédé de transfert de chaleur.....	5
I.4.4 Classement fonctionnel.....	5
I.4.5 Classement suivant la compacité de l'échangeur.....	5
I.4.6 Classement suivant le matériau de la paroi d'échange.....	5
I.4.7 Classification suivant le type de constructeur.....	6
I.5 Types de contact.....	8
I.5.1 Échangeurs à contact direct.....	8
I.6 Différents types d'échange.....	8
I.6.1 Échange sans changement de phase.....	8
I.6.2 Échange avec changement phase.....	8
I.7 Distribution des températures.....	9
I.8 Domaine d'utilisation.....	9
I.9 Conclusion.....	11
<b>CHAPITRE II : Calcul des performances d'échangeur de chaleur</b>	
II.1 Etude d'un échangeur.....	12
II.1.1 Fluide caloporteur.....	12
II.1.2 Les problèmes des échangeurs thermiques.....	12
II.2 Position du problème.....	13
II.2.1 Hypothèses.....	13
II.3 Méthode de calcul $\Delta T_{ML}$ .....	14
II.4 Nombre d'unité de transfert NUT.....	17
II.5 Autre configurations.....	17
II.6 Evaluation du Coefficient d'échange global.....	19
<b>CHAPITRE III : Résultats et discussions</b>	
III.1 Introduction.....	21
III.2 Données de programme.....	21
III.3 Les résultats de la simulation.....	22
III.3.1 Influence de la température des deux fluides chaud et froid en entrée sur la température en Sortie.....	22
III.3.2 Influence de la température de fluide chaud en entrée sur la puissance échange.....	23
III.3.3 Influence de la surface d'échange sur la moyenne logarithmique de la température $\Delta T_{LM}$ .....	23
III.3.4 Influence de la surface d'échange sur les températures des fluides chaud et froid.....	24
III.3.5 Influence de débit massique de fluide froid et chaud à l'entrée sur les températures de fluides chaud et froid à la sortie.....	26
III.3.6 Influence de la température de fluide chaud à l'entrée sur la moyenne logarithmique de température.....	26
III.3.7 Influence de la surface d'échange sur la moyenne logarithmique de température.....	28
III.4 Conclusion.....	28
<b>Conclusion générale</b> .....	29

## *Introduction générale*

L'échangeur de chaleur est un appareil thermique de grande importance dans les installations thermiques et énergétiques. On rencontre au moins un échangeur de chaleur dans une installation thermique.

L'échangeur consiste essentiellement à transmettre la chaleur d'une source chaude à une autre source de plus faible température. Il est caractérisé par une grande diversité géométrique.

La transmission de chaleur dans ces appareils est réalisée par :

L'échange de chaleur entre le fluide primaire (le plus chaud) et la paroi séparatrice par convection de chaleur, l'échange de chaleur par conduction thermique dans la paroi et l'échange de chaleur entre la paroi séparatrice et le fluide secondaire par convection de chaleur à la différence des autres appareils thermiques, l'échangeur de chaleur ne contient aucune pièce mécanique mobile.

Dans un échangeur, la chaleur est transmise d'un fluide à un autre. Le même fluide peut conserver son état physique (liquide ou gazeux) ou se présenter successivement sous les deux phases (cas des condenseurs et des évaporateurs).

Notre mémoire est structuré comme suit :

Dans le première chapitre nous procédons à une étude bibliographique : concernant les différentes types des échangeurs de chaleur et leurs classifications. Le deuxième chapitre fait l'étude de calculs des performances des échangeurs de chaleur. Le troisième chapitre englobe les résultats de simulation qui seront interprétés par la suite.

Nous avons achevé notre mémoire par une conclusion générale et les perspectives qui peuvent être dégagées logiquement de ce travail.

# Chapitre I :

GÉNÉRALITÉS SUR

LES ÉCHANGEURS

DE CHALEUR

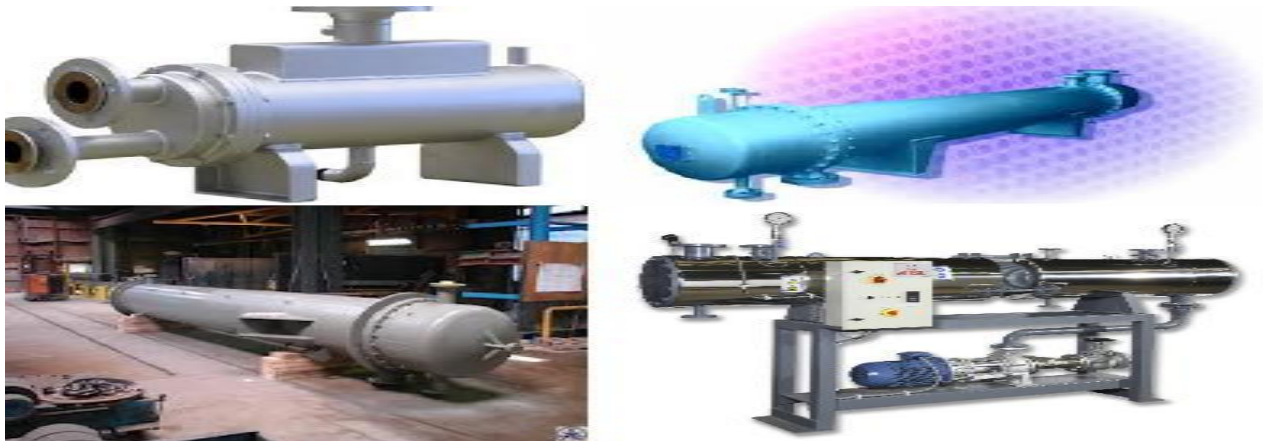
## I.1 Introduction

L'échangeur de chaleur est un appareil thermique de grande importance dans les installations thermiques et énergétique. On rencontre au moins un échangeur de chaleur dans une installation thermique.

Les échangeurs de chaleur sont des appareils conçus pour permettre le transfert de chaleur entre deux ou plusieurs courants de fluides. Le grand nombre de configurations différentes des appareils rend leur classification difficile. On systématise les échangeurs de chaleur en fonction des conditions d'exploitation, de construction, de capacité de transfert de chaleur et d'arrangement de courant du fluide.

L'échangeur est de loin l'équipement le plus répandu dans les unités de transformation des industries chimiques et pétrochimiques. Dans la majorité des cas, les échangeurs de chaleurs du type faisceaux-calandre se retrouvent dans ces industries.

Notre travail est réalisé sur l'étude des échangeurs de chaleur.



**Figure. I.1 :** *Echangeurs de chaleur.*

## **I.2. Historique des changements de chaleur :**

L'échange de chaleur a été étudié par beaucoup de chercheurs. Gilles en 1971 [2] a employé un coefficient moyen de transfert de chaleur, déduit du régime stationnaire pour l'élaboration d'un modèle mathématique d'un échangeur tubulaire dans le cas d'une température d'entrée variable.

Correa et autres en 1987 [3] ont généralisé cette approche pour un échangeur à tubes et calandre. Des études expérimentales accompagnant cette étude ont montré que l'allure de la réponse de la température face à un échelon de débit ou de température d'admission prend globalement l'allure d'une fonction exponentielle. Pierson en 1986 [4] a utilisé la méthode de deux paramètres dans une étude théorique des systèmes thermiques en régime transitoire dans le cas d'un échangeur de chaleur à double tube, quand la température d'entrée de l'un des fluides est soumise à un échelon de température. Gogus-Ataer en 1988 [5] a appliqué cette méthode dans le cas d'un échangeur de chaleur à ailettes pour une circulation des fluides à courant croisé. Hadidi en 1993 [6] a étendu cette méthode pour le cas où les deux entrées subiraient un changement de température simultané. Guellal en 1995 [7] a généralisé cette approche dans le cas où les deux entrées seraient simultanément soumises à un débit variable. En 1997 une formulation générale de la méthode de deux paramètres est exposée par Lachi et autres. [8] quand un changement soudain des températures ou des débits est imposé aux deux entrées d'un échangeur à double tube.

Abdelghani–Idrissi et Bagui en 2000 ont réalisé une étude analytique et expérimentale adimensionnelle de la réponse transitoire de la température le long d'un échangeur de chaleur à contre-courant quand la variation du débit est appliquée au fluide chaud dans le tube intérieur.

Azilinson et autres en 1990 ont développé une méthode pour déterminer l'efficacité moyenne des échangeurs de chaleur quand l'un des fluides est soumis à n'importe quel type d'effet thermique à l'entrée. Mai et autres. en 1999, ont réalisé une étude de l'efficacité moyenne des échangeurs de chaleur soumis à toutes sortes de variation des débits, en introduisant les connaissances de base des efficacités moyennes sur le côté froid et le côté chaud de l'échangeur de chaleur.

## **I.3 Le principe de fonctionnement**

Un échangeur de chaleur est un dispositif permettant la récupération de l'énergie thermique d'un fluide par un autre. Le flux thermique traverse la paroi de séparation des différents fluides. En effet, la chaleur peut être caractérisée comme un transfert d'énergie d'un système à un autre dû à une différence de température (Cengel 2002). Selon la deuxième loi de la thermodynamique, ce transfert d'énergie s'effectue de la température la plus importante vers la plus faible. Il s'arrête donc lorsque les deux milieux sont de températures identiques.

La chaleur peut être transférée par trois modes différents : la conduction, la convection et le rayonnement.

La conduction est un mode de transfert de chaleur dû à une différence de température entre deux milieux en contact. A l'inverse de la convection il s'effectue sans déplacement global de matière. C'est le transfert d'énergie des particules les plus énergétiques aux particules les moins énergétiques qui leur sont adjacentes. La conduction peut s'effectuer dans les solides, les liquides ou les gaz. La grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors de ce phénomène est la conductivité thermique. Dans les échangeurs thermiques, la conduction apparaît principalement dans la paroi séparant les deux fluides. Cette paroi est généralement métallique et de faible épaisseur, elle a donc une résistance thermique faible.

La convection s'effectue par un déplacement de matière dans le milieu. C'est le transfert d'énergie entre une surface solide et un liquide ou un gaz adjacent. Le rayonnement est un transfert d'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques résultant des changements dans les configurations électroniques des atomes ou des molécules. Au niveau des échangeurs thermiques, c'est le moins prépondérant des modes de transfert thermique, néanmoins il n'est pas négligeable lors de certaines applications telle qu'une chaudière avec brûleur.

La fonction des échangeurs de chaleur est de transférer la chaleur du primaire au secondaire à travers des plaques circulaires conjuguées.

La construction est réalisée de manière à ce que le circuit primaire et le circuit secondaire se croisent à travers un ensemble de plaques (contre-courant, co-courant, multi-passe, etc.).

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

Le but principal est de calculer des échangeurs de chaleur et d'aboutir à un meilleur transfert thermique, dans des conditions économiques optimales. De ce fait, il faut trouver le meilleur compromis entre les frais d'investissement et d'autres impératifs, tel que l'encombrement de l'appareil, son poids et des performances de l'échangeur : Flux de chaleur, transfert thermique et perte de charge.

Les échangeurs de chaleur sont largement utilisés dans l'industrie et en particulier dans les domaines de la pétrochimie, l'automobile, chimie, l'agroalimentaire, le chauffage, la climatisation, la cryogénie, etc..., où ils sont utilisés pour élever ou ajouter des quantités de chaleur aux fluides traités dans toutes les branches d'activités humaines.

Il existe plusieurs critères de différents types d'échangeurs, les principaux critères sont :

### **I.4.1 Classement technologique**

Les principaux types d'échangeurs rencontrés dans l'industrie sont les suivants :

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

### **I.4.2 Classement suivant le mode de transfert de chaleur**

Les trois modes de transfert de chaleur sont couplés dans la plupart des applications, il y a souvent un mode de transfert prédominant. Pour tout échangeur avec transfert de chaleur à travers une paroi, la conduction intervient.

### **I.4.3 Classement suivant le procédé de transfert de chaleur**

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

- Transfert sans stockage, donc avec un récupérateur de 2 ou un passage et un écoulement en général continu.
- Transfert avec stockage, donc avec un régénérateur, d'un seul passage et un écoulement intermittent, la matrice de stockage étant statique ou dynamique.

### **I.4.4 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:

- Les deux fluides ont un écoulement monophasique.
- Un seul fluide a un écoulement avec changement de phase, cas des évaporateurs ou des condenseurs.
- Les deux ont un écoulement avec changement de phase, cas des évapo-condenseurs.

### **I.4.5 Classement suivant la compacité de l'échangeur**

La compacité est définie par le rapport de la surface d'échange au volume de l'échangeur.

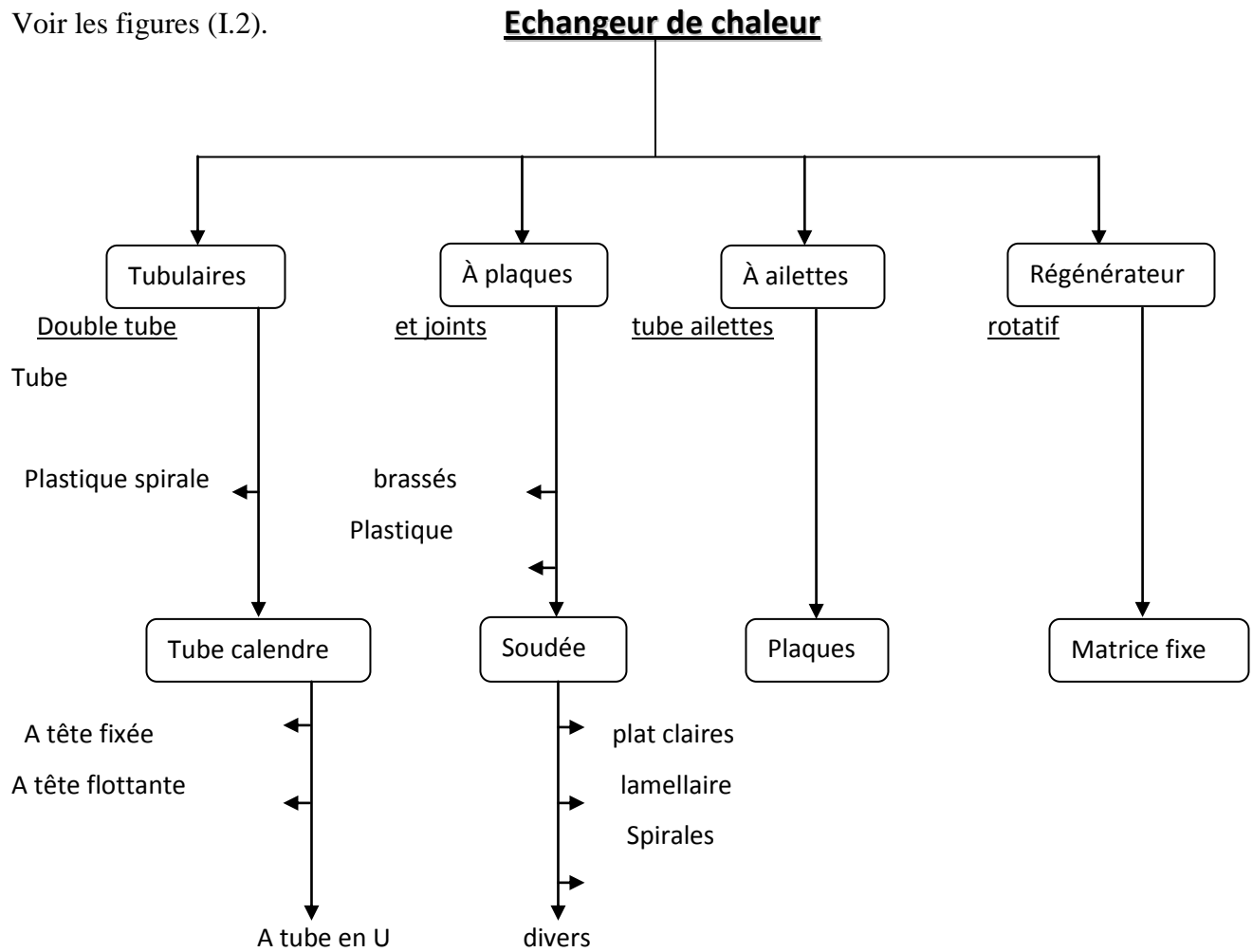
### **I.4.6 Classement suivant le matériau de la paroi d'échange**

On retiendra deux types de paroi:

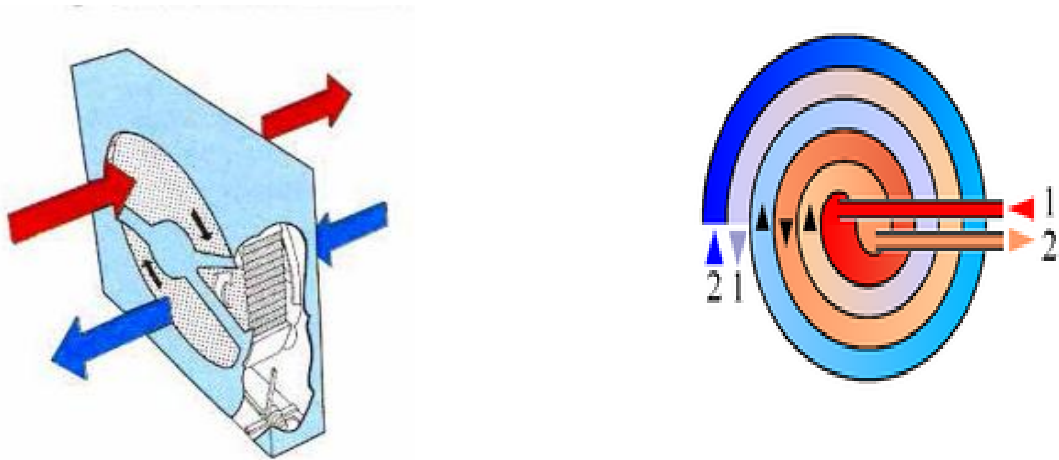
- Les échangeurs métalliques en acier, cuivre, aluminium ou matériaux spéciaux.
- Les échangeurs non métalliques en plastique, céramique, graphite, verre... etc. [3,6].

### I.4.7 Classification suivant le type de constructeur

Voir les figures (I.2).



**Figure I.2 :** Classification suivant le type de constructeur [3].



**Figure 1.2.a :** éclatée d'un échangeur



## I.5 Types de contact

**I.5.1 Échangeurs à contact direct :** Le type le plus simple comprend un récipient (ou canalisation) dans lequel les deux fluides sont directement mélangés et atteignent la même température finale.

Exemples :

- Les réchauffeurs d'eau (injection de vapeur d'eau sous pression).
- Les dé- réchauffeurs industriels et les condenseurs à injection (centrale thermique).

**I.5.2 Échangeurs à contact indirect :** En principe, pour les échangeurs les plus répandus dans l'industrie, les deux fluides, désignés par 1 et 2, s'écoulent dans des espaces séparés par une paroi ou une cloison, à faible inertie thermique. La chaleur que le fluide 1 cède à la paroi, par convection le long de la surface de contact, traverse l'épaisseur de la paroi par conduction et est cédée au fluide 2 par convection le long de l'autre face. Les processus de transfert présentent une réciprocity: convection (1) conduction (paroi), convection (2). Le flux de chaleur échangé s'exprime par le produit d'une conductance globale constante le long de l'échangeur, et de la différence entre les températures moyennes  $T_1$  et  $T_2$  des fluides

## I.6 Différents types d'échange

Les échangeurs de chaleur sont **diphasiques** ou **monophasique**.

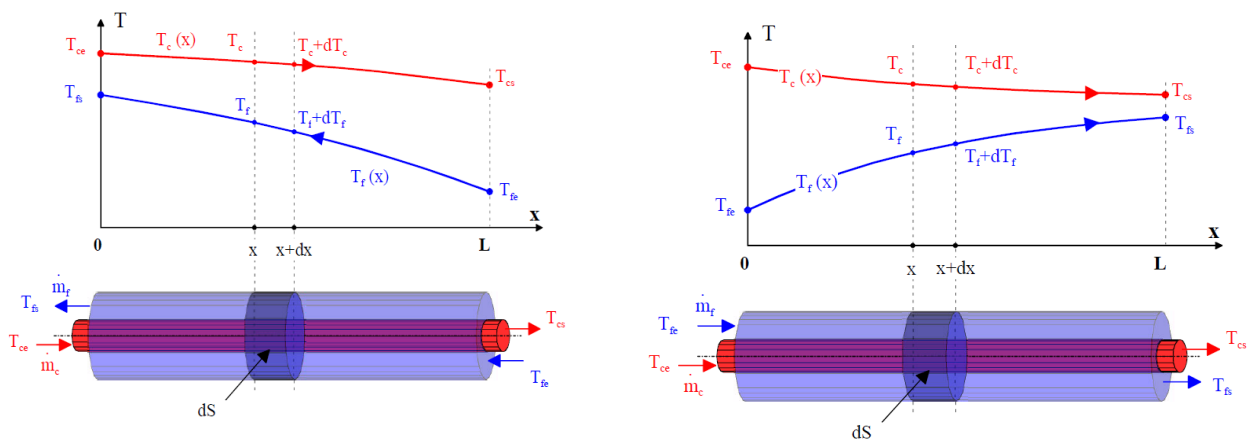
**I.6.1 Échange sans changement de phase :** Les échangeurs de chaleur sans changement de phase correspondent aux échangeurs dans lesquels l'un des fluides se refroidit pour réchauffer le deuxième fluide sans qu'il y ait changement de phase. Les températures des fluides sont donc variables, tout le long de l'échangeur. Parmi ces échangeurs, on cite les échangeurs : (liquide –liquide, gaz -liquide et gaz -gaz...).

**I.6.2 Échange avec changement de phase:** Les échanges avec changement de phase sont caractérisés par trois cas différents:

- 1- l'un des fluides se condense alors que l'autre se vaporise. Ces échangeurs sont rencontrés dans les machines frigorifiques installées en cascade. Ceux sont **les évaporateurs - condenseurs**.
- 2- 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**.
- 3- le fluide primaire se condense en cédant sa chaleur latente au fluide secondaire plus froid, lequel ne subit pas de transformation d'état. A titre d'exemple; ce cas est rencontré dans **les condenseurs** des machines frigorifiques.

## I.7 Distribution des températures

Les températures des fluides pendant leur traversée longitudinale de l'échangeur, à moins que l'un des fluides ne subisse un changement de phase, auquel cas sa température reste constante. Les figures donnent l'allure de quelques distributions de températures des échangeurs très simple. On a porté en abscisses l'aire de la surface d'échange, variant depuis zéro, à l'entrée de l'appareil (extrémité où rentre le fluide chaud), jusqu'à sa valeur totale  $s$ , à la sortie du fluide chaud. Les températures sont repérées à l'aide d'indices  $e$  signifiant entrée et  $s$  sortie,  $c$  désignent le fluide chaud et  $f$  le fluide froid [2].



**Figure 3 :** *Distribution des températures dans des échangeurs à un seul passage (Type double tube).*

On remarque en particulier sur ces figures que dans un échangeur à contre courant, la température de sortie du fluide « le plus froid » peut être supérieure à celle de sortie du fluide « le plus chaud », cette disposition étant l'une des plus favorables pour l'échange thermique.

## I.8 Domaine d'utilisation

a)- **échangeurs tubulaires :** l'un des modèles les plus simple d'échangeur que l'on puisse imaginer est constitué de deux tubes coaxiaux .l'un des fluides s'écouler dans le tube central et l'autre dans l'espace annulaire .les deux fluides peuvent circuler dans le même sens ou en sens contraire. Il est difficile d'obtenir des surfaces d'échange importantes avec cette configuration, même en soudant les tubes, sans aboutir à des appareils très encombrants. Aussi préfère-t-on disposer un faisceau de tubes dans une enveloppe unique, généralement cylindrique appelé *calandre*, l'un des fluides circulant dans les tubes et l'autre à l'intérieur de la calandre autour des tubes. Dans ce genre d'échangeur, des

chicanes de formes variées disposées surtout perpendiculairement à l'axe de la calandre rendent le parcours du fluide qui la traverse plus long et sinueux, elles favorisent la turbulence, ce qui a pour effet d'améliorer les échanges (mais aussi malheureusement d'augmenter les pertes de charge). Ce genre de disposition est la plus utilisée pour les échangeurs liquide -liquide .la compacité maximum (surface d'échange par mètre cube) obtenue avec cette configuration est de l'ordre de  $500\text{m}^2/\text{m}^3$  [2].

**b)- Les échangeurs à plaques:** Les échangeurs de la deuxième famille sont constitués par un empilement de plaques garnies de joints d'étanchéité à leur périphérie ; les fluides s'écoulent entre ces plaques dans des canaux plats où la circulation peut être soit diagonale ou latérale .Il y a évidemment une alternance du fluide froid et du fluide chaud d'un canal au suivant .Globalement, la distribution des fluides entre les différents canaux se fait en U, en Z . Les plaques peuvent être lisses ou corrigées (ondulées ou à cannelures en chevrons) afin d'intensifier l'échange de chaleur par l'augmentation de la turbulence et de la surface d'échange .La pression d'utilisation des échangeurs à plaques et joints est inférieure à 20 bars. La température usuelle maximale ne doit pas dépasser  $250^\circ\text{C}$ .

Les échangeurs à plaques se présentent sous diverses formes :

- Les échangeurs à plaques hélicoïdales.
- Les échangeurs à plaques planes.
- Les échangeurs à plaques munies d'ailettes.
- Les échangeurs à tubes munis d'ailettes.

Elles sont très utilisées pour certaines applications liquides -liquide (en particulier dans les industries alimentaires) dans le cas des échangeurs gaz -liquide ou gaz -gaz.la faible densité des gaz impose, si l'on veut rester à un niveau acceptable de perte de charge, que l'on réduise la vitesse de passage des gaz relativement à celles pratiquées pour les liquides. Réduire la vitesse c'est aussi réduire le coefficient de convection fluide -paroi, ce qui nécessite, à volume égal, une augmentation de la surface d'échange. Pour les échangeurs gaz -gaz les surfaces d'échanges adoptées sont très souvent constituées de plaques planes séparées par des ailettes braisées sur celles-ci les deux fluides circulent alternativement entre les plaques .les ailettes permettent d'augmenter la surface d'échange et aussi, par leur disposition en quiconque de créer des interruptions dans les écoulements favorisant la turbulence et améliorant de ce fait les échanges thermiques. Dans les échangeurs gaz -liquide, il y a une nécessité d'obtenir une surface d'échange ayant des étendues différentes au contact des deux fluides. C'est la raison pour laquelle on utilise des batteries de tubes à ailettes ou des radiateurs dans l'automobile [2].

## **I.9 Conclusion**

L'échangeur d'énergie thermique est un des instruments clé 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 sont des appareils où le transfert de chaleur à basses et moyennes températures se fait sans changement de phase.

# Chapitre II :

CALCUL DES

PERFORMANCES

D'ÉCHANGEUR

DE CHALEUR

## II.1 Etude d'un échangeur

Un échangeur de chaleur est un système qui permet d'échanger la chaleur entre deux fluides sans se mélanger. Dans un échangeur thermique, le fluide chaud et le fluide froid sont séparés par une paroi (plane ou tubulaire). La transmission de la chaleur se fait du fluide chaud vers le fluide froid. Les fluides, chauffant et chauffé sont des fluides caloporteurs.

### II.1.1 Fluide caloporteur

Le fluide caloporteur est celui qui véhicule des calories de la source où elles sont produites aux zones où elles seront utilisées.

Suivant l'avis d'une partie de thermiciens, le fluide caloporteur doit avoir de grandes valeurs de chaleur massique et de masse volumique. D'une part le flux de chaleur est d'autant plus élevé quand la chaleur massique est forte. D'autre part, la géométrie est optimisée dès que la masse volumique du fluide choisi est plus grande [6].

$$\Phi = \dot{m} C_p \Delta t \quad (\text{II.1})$$

Avec :

- $\dot{m}$ : Débit massique [kg/s]
- $C_p$  : Chaleur massique [J/kg.K]
- $\Delta t$ : Écart de température dans le fluide [K]

### II.1.2 Les problèmes des échangeurs thermiques

On se contente ici de citer le problème de l'encrassement qui peut être défini comme l'accumulation d'éléments solides indésirables sur une interface. L'encrassement est un problème principal de fonctionnements rencontrés par les utilisateurs d'échangeur de chaleur.

L'encrassement reste le phénomène le moins compris de l'industrie, il se traduit par :

- Un surdimensionnement des appareils dans les bureaux d'étude.
- Une dépense d'énergie supplémentaire.
- Le remplacement des appareils corrodés.
- Des coûts d'arrêt des installations pour démontage et nettoyage [2].

Il existe six types d'encrassement :

**A- Encrassement particulaire**

Il s'agit du dépôt puis de l'accumulation sur la surface d'échange des particules transportées par l'écoulement des fluides industriels [6,7].

**B- Corrosion**

La corrosion est un phénomène destructif subi par un corps solide, généralement en métal. Ses origines sont complexes, souvent difficiles à déterminer ; provenant d'action physiques, chimiques ou électrochimique [6].

**C- Entartrage**

Il est généralement associé à la production d'un solide cristallin à partir d'une solution liquide [3]. Pour éviter ou limiter le phénomène bien connu de corrosion sulfurique par les condensations, acides des fumées (produits de combustion contenant du  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  et de l'eau en phase vapeur) sur les parois les plus froides des surfaces d'échange, lorsqu'elles sont à une température inférieure au point de rosée sulfurique, il convient donc de [8]:

- Rechercher des matériaux résistants à la corrosion (acier, carbone, fonte...).
- Réduire la teneur en  $\text{SO}_3$  dans les gaz de combustion.

**D- Encrassement biologique**

L'encrassement biologique est le dépôt de micro-organismes sur la paroi d'échange de chaleur [7].

**E- 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.

**F- Encrassement par solidification**

Il s'agit de la solidification d'un liquide pur au contact d'une surface d'échange sous refroidissement ou du dépôt d'un constituant à haut point de fusion d'un liquide au contact d'une surface de transfert de chaleur froid [2].

**II.2 Position du problème**

Le modèle de l'échangeur proposé à étudier est constitué de deux tubes coaxiaux. Le fluide chaud passe dans le tube central de rayons extérieurs et intérieurs  $R_e$  et  $R_i$  respectivement, et le fluide froid passe dans l'espace annulaire de rayons extérieurs et intérieurs  $R_e$  et  $R_i$  respectivement. Les deux fluides circulent dans le même sens (co-courant) ou en sens contraire (contre-courant).

**II.2.1 Hypothèses**

Le calcul thermique général d'un échangeur peut se faire en admettant quelques hypothèses simplificatrices [4] :

- Le régime de fonctionnement est permanent.

- Les deux fluides sont physiquement séparés l'un de l'autre par une paroi étanche ou transfert de masse, mais aussi perméable que possible au transfert de chaleur.
- Sections de passage constantes.
- Toute l'enthalpie perdue par le fluide chaud est instantanément gagnée par le fluide froid.
- Fluides monophasiques.
- Propriétés thermo physiques des fluides dépendent de la température.
- Conduction dans le fluide est négligeable.
- Régime d'écoulement turbulent.

Il existe deux méthodes de calcul qui seront utilisées :

- Celle de la moyenne logarithmique de la différence de température, souvent appelée  $\Delta TML$ .
- Celle (du nombre d'unité de transfert) dit **NUT**, également utilisées en génie chimique pour le transfert de masse.

### II.3 Méthode de calcul $\Delta TML$

Si  $T_c$  et  $T_f$  sont les températures des deux fluides au droit de l'élément  $dS$  de la surface d'échange, le flux  $d\phi$  d'échange entre les deux fluides à travers  $dS$  :

$$d\phi = k \cdot ds (T_c - T_f) \quad (II-2)$$

$K$ : est le coefficient d'échange entre les deux fluides au niveau de l'élément  $dS$ . Il est exprimé en  $(w/m^2 \text{ } ^\circ C)$

Il comprend trois termes : les deux coefficients d'échange fluide- paroi et un élément de conduction à travers la paroi solide.

#### Echangeur à courant parallèle

Dans ces conceptions, le flux de chaleur  $d\phi$  transmis du fluide chaud au fluide froid à travers l'élément  $dS$  s'écrit, dans le cas de l'échangeur de chaleur à courant parallèle.

$$d\phi = m_c \cdot C_{pc} \cdot dT_c = m_f \cdot C_{pf} \cdot dT_f \quad (II-3)$$

D'où:  $m_c$  et  $m_f$  sont les débits massiques respectifs, les fluides chaud et froid, (en  $kg \cdot ^\circ c$ ).  $C_{pc}$  et  $C_{pf}$  sont leurs chaleurs massiques à pression constante, en  $[J/kg \cdot ^\circ C]$ .

De (II-3) on tire :

$$dT = - \frac{d\phi}{m \cdot c \cdot C_{pc}} \quad (II-4)$$

D'où la différence :

$$dT_c - dT_f = d\left(-\frac{1}{m_c \cdot C_{p_c}} + \frac{1}{m_f \cdot C_{p_f}}\right) d\phi \quad (\text{II-5})$$

Sinon remplace  $d\phi$  par son expression générale introduite en (2.1) il vient :

$$d(T_c - T_f) = \left(\frac{1}{m_c \cdot C_{p_c}} + \frac{1}{m_f \cdot C_{p_f}}\right) k(T_c - T_f) dS \quad (\text{II-6})$$

Relation que l'on peut mettre sous la forme :

$$\frac{d(T_c - T_f)}{(T_c - T_f)} = -\left(\frac{1}{m_c \cdot C_{p_c}} + \frac{1}{m_f \cdot C_{p_f}}\right) k \cdot dS \quad (\text{II-7})$$

On peut intégrer l'équation différentielle ci-dessus depuis  $S=0$  jusqu'à la valeur maximale. Il vient alors :

$$[\ln(T_c - T_f)]_{s=0}^s = -\left(\frac{1}{m_c \cdot C_{p_c}} + \frac{1}{m_f \cdot C_{p_f}}\right) \cdot k \cdot dS \quad (\text{II-8})$$

A l'entrée l'échangeur ( $S=0$ ) on a :  $T_c - T_f = T_{c_e} - T_{f_e}$

A la sortie de l'échangeur ( $S=S$ ) on a :  $T_c - T_f = T_{c_s} - T_{f_s}$

D'où la relation :

$$\frac{d(T_{c_s} - T_{f_s})}{(T_{c_e} - T_{f_e})} = -\left(\frac{1}{m_c \cdot C_{p_c}} + \frac{1}{m_f \cdot C_{p_f}}\right) \cdot k \cdot dS \quad (\text{II-9})$$

C'est faire le bilan enthalpique global de chaque fluide, ce que s'écrit :

$$\Phi = m_c \cdot C_{p_c} (T_{c_e} - T_{c_s}) = m_f \cdot C_{p_f} (T_{f_s} - T_{f_e}) \quad (\text{II-14})$$

En remplaçant dans (II-7) l'expression de  $m_c \cdot C_{p_c} m_f \cdot C_{p_f}$  de (II-8) d'où

On tire finalement la - thermique totale échangée, dans l'hypothèse d'une circulation à courant parallèle :

$$\Phi = K \cdot S \cdot \frac{(T_{c_s} - T_{f_s}) - (T_{c_e} - T_{f_e})}{\ln \left[ \frac{T_{c_s} - T_{f_s}}{T_{c_e} - T_{f_e}} \right]} \quad (\text{II-10})$$

Dans le cas d'un échangeur à courant parallèle, on aura cette fois :

$$\Delta T_1 = T_{c_e} - T_{f_e} \text{ et } \Delta T_2 = T_{c_s} - T_{f_s}$$

$$\Phi = K \cdot S \cdot \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} = K \cdot S \cdot \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (\text{II-16})$$

### Co-courant

Voir figure (II.1).

$$\Delta T_1 = T_{c_e} - T_{f_e}$$

$$\Delta T_2 = T_{Cs} - T_{FS}$$

$$\Delta TML = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \rightarrow \Delta TML = \frac{(T_{ce} - T_{fe}) - (T_{cs} - T_{fs})}{\ln \frac{T_{ce} - T_{fe}}{T_{cs} - T_{fs}}} \quad (\text{II-11})$$

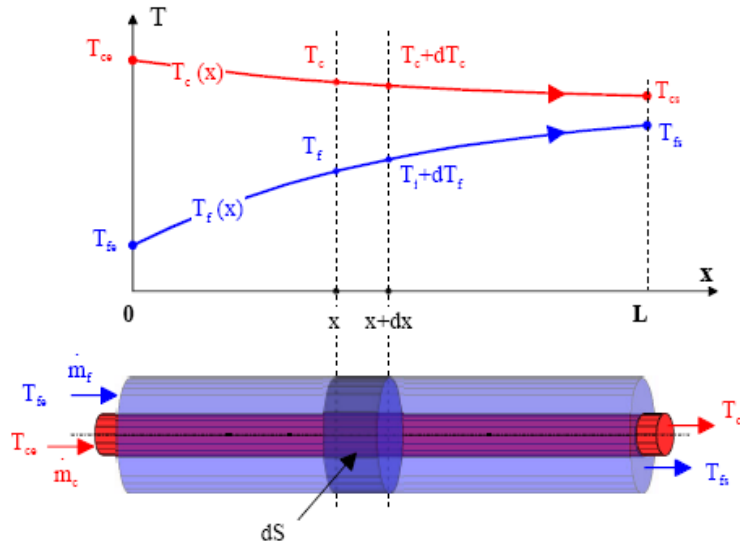
**✚ Contre-courant**

Voir la figure (II.2).

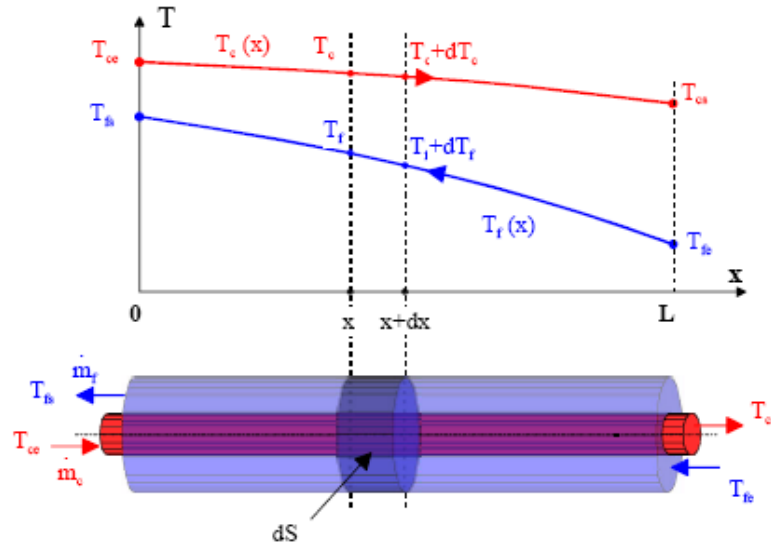
$$\Delta T_1 = T_{ce} - T_{FS}$$

$$\Delta T_2 = T_{cs} - T_{Fe}$$

$$\Delta TML = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \rightarrow \Delta TML = \frac{(T_{ce} - T_{fs}) - (T_{cs} - T_{fe})}{\ln \frac{T_{cs} - T_{fs}}{T_{cs} - T_{fe}}} \quad (\text{II-12})$$



**Figure II.1 :** Evolution des températures du fluide chaud et du fluide froid le long d'un échangeur Co-courant [6].



**Figure II.2 :** Evolution des températures du fluide chaud et du fluide froid le long d'un échangeur contre courant [6].

## II.4 Nombre d'unité de transfert NUT

Le nombre d'unité de transfert est un nombre adimensionnel. Il représente le rapport entre la conductance et la capacité calorifique du fluide:

$$\Phi = \dot{m}_f C_{P_f} (T_{fs} - T_{fe}) = \dot{m}_c C_{P_c} (T_{ce} - T_{cs}) = K S \Delta T M L \quad (\text{II-13})$$

Donc on a:

Pour le fluide chaud :

$$NUT_C = \frac{KS}{\dot{m}_c C_{pc}} = \frac{T_{ce} - T_{cs}}{\Delta T M L} \quad (\text{II-14})$$

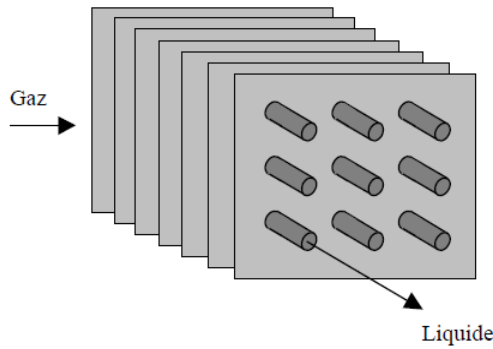
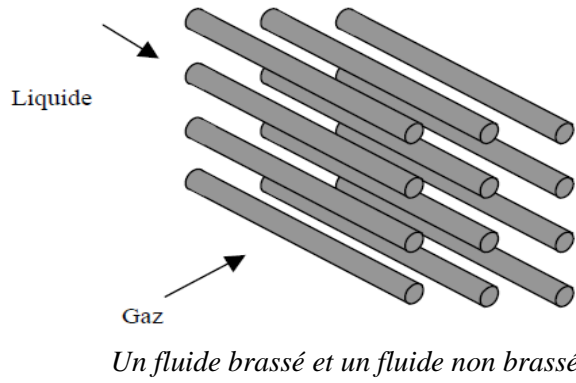
Pour le fluide froid :

$$NUT_f = \frac{KS}{\dot{m}_f C_{pf}} = \frac{T_{fs} - T_{fe}}{\Delta T M L} \quad (\text{II-15})$$

## II.5 Autre configurations

### A- Courants croisés

Les deux fluides s'écoulent perpendiculairement l'un à l'autre. Un fluide est dit non brassé s'il s'écoule dans une veine divisée en plusieurs canaux parallèles distincts et de faible section, il est dit brassé dans le cas contraire. Le brassage a pour effet d'homogénéiser les températures dans la section droite de la veine. Les échangeurs à courants croisés sont surtout utilisés pour des échangeurs entre un gaz circulant en calandre et un liquide circulant dans les tubes.



**Figure II.3 :** Schéma de deux types d'échangeurs à courants croisés

Comme pour l'échangeur tubulaire simple, il existe une relation reliant le nombre d'unités de transfert maximal  $NUT_{max}$  et l'efficacité  $\eta$  de l'échangeur

Deux fluides non brassés :

$$\eta = 1 - \exp \left[ \frac{\exp(-z NUT_{max}^{0,78}) - 1}{z NUT_{max}^{-0,22}} \right] \tag{II-16}$$

Deux fluides brassés :

$$\eta = \left[ \frac{1}{1 - \exp(-NUT_{max})} + \frac{z}{1 - \exp(-NUT_{max} z)} - \frac{1}{NUT_{max}} \right]^{-1}$$

$$NUT_{max} = \ln \left[ 1 + \frac{1}{z} \ln(1 - \eta z) \right]$$

Un fluide non brassé :

$$\eta = 1 - \exp \left\{ - \left( \frac{1}{z} \right) [1 - \exp(-z NUT_{max})] \right\} \tag{II-17}$$

$$NUT_{max} = -\frac{1}{Z} \ln[1 + Z \ln(1 - \eta)]$$

Fluide commandant le transfert ( $q_c$  min) non brassé :

Le calcul d'un échangeur à courants croisés s'effectue en appliquant la méthode du NUT telle qu'elle a été décrite pour les échangeurs tubulaires simples. On trouvera en annexe A.6.1 des abaques représentant ces différentes formules.

## II.6 Evaluation du Coefficient d'échange global

Le coefficient d'échange de chaleur global d'un échangeur de chaleur propre (neuf) rapporté à sa surface extérieure d'échange est donné pour une paroi tubulaire par les expressions suivantes [4] :

$$\frac{1}{K_{propre}} = \frac{1}{h_i} \frac{d_{n+1}}{d_1} + \sum_{j=1}^n \frac{1}{2\lambda_j} \ln \frac{d_{j+1}}{d_j} + \frac{1}{h_e} \quad (\text{II-18})$$

- $K$  : Coefficient d'échange de chaleur global propre en  $[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ .
- $h_i$  et  $h_e$  : coefficient de convection interne et externe respectivement en  $[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ .
- $d_1$  et  $d_{n+1}$  : Diamètre interne et externe du tube en  $[\text{m}]$ .
- $\lambda_j$  : Conductivité thermique de la  $j$ ème paroi en  $[\text{W}/\text{m.K}]$ .

Quand l'échangeur est mis en service, il se produit des dépôts de salissure à l'intérieure et à l'extérieure de la paroi séparatrice. En supposant que les dépôts se sont uniformément repartis sur les parois, le coefficient d'échange global devient:

$$\frac{1}{K_{effectif}} = \frac{1}{K_{propre}} + R_e + \frac{d_{n+1}}{d_1} R_i \quad (\text{II-19})$$

Où :  $R_i$  et  $R_e$  : Résistance thermique d'encrassement en  $[\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$ .

La résistance thermique d'encrassement est donnée par :

$$R = \frac{\delta_{enc}}{\lambda_{enc}} \quad (\text{II-20})$$

L'épaisseur  $\delta_{enc}$  est négligeable devant les autres épaisseurs de la paroi séparatrice. On remarque des expressions donnant le coefficient d'échange global que les performances thermiques d'un échangeur de chaleur peuvent être nettement améliorées en détruisant ou en tout au moins limitant les dépôts d'encrassement. Sachant que la résistance thermique d'encrassement s'intensifie quand un fluide s'écoule en faible vitesse ou en augmentant sa température.

De ce qui a été dit, on conclut que le coefficient d'échange global noté  $K$ , doit être calculé dans chaque cas particulier, mais néanmoins on peut dresser un tableau donnant des valeurs grossières de ce coefficient.

Le coefficient d'échange global est amélioré automatiquement en intensifiant les échanges de chaleur du côté du fluide ayant le plus faible coefficient convectif, par exemple: mettre un ventilateur du côté où circule l'air dans les échangeurs air-eau voir le tableau (II.1).

Type d'échangeur		Convection naturelle	Convection forcée	Fluides
Liquide-liquide		115 à 350	815 à 1750	Eau-eau
		30 à 60	105 à 290	Eau-huile
Liquide-Gaz		5 à 20	15 à 60	Eau-air
Gaz-Gaz		3 à 12	15 à 35	Surchauffe de vapeur
Vapeur se condensant	Liquide	290 à 1160	815 à 4620	Vapeur d'eau-eau liquide
		60 à 175	120 à 350	Vapeur-Huile
	Gaz	6 à 12	15 à 60	Réchauffeur d'air
	Liquide en ébullition	1745 à 4650		
Liquide en ébullition	Gaz	6 à 20	20 à 60	Chaufferie de vapeur
	Liquide	120 à 350	290 à 870	Réfrigérant à Saumure

**Tableau (II.1) :** valeurs grossières du coefficient d'échange global  $[W/m^2K]$

A noter que le coefficient d'échange global dans le cas général (sans ailettes) est donné par :

$$\frac{1}{K} = \left(\frac{1}{h} + R_i\right) \frac{S_e}{S} + R_p \frac{S_e}{S} + R_e + \frac{1}{h} \tag{II.21}$$

- $S_e$   $S_i$ : Surface externe et interne de la paroi d'échange en  $[m^2]$ .
- $S_m$  Surface moyenne de la paroi d'échange en  $[m^2]$ .
- $R_p$ : Résistance de la paroi séparatrice en  $[m^2/K.W]$ .

# Chapitre III:

RÉSULTATS

ET

DISCUSSION

### III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous avons simulé le comportement thermique d'un échangeur de chaleur avec deux configurations différentes (à courant parallèle et à contre courant), Le calcul des paramètres de transfert de chaleur permet de déterminer les caractéristiques de bon fonctionnement de l'échangeur. Le modèle utilisé consiste à étudier l'influence des paramètres d'entrée sur les paramètres de sortie et les performances de l'échangeur de chaleur. Nous avons réalisé un programme en langage MATLAB basé sur les paramètres d'entrée comme : la température de fluide chaud et froid, les débits des fluides chaud et froid et la surface d'échange, on calculant à l'aide ce programme la température d'entrée et de sortie en fonction de fluide froid , fluide chaud et  $\Delta TLM_{C-C}$  ,  $\Delta TLM_{C-P}$  . Les résultats obtenus sont affichés et interprétés ci-dessous.

### III.2 Données de programme

Le calcul des performances thermiques de l'échangeur de chaleur étudiée est basé sur les données suivantes :

- Masse volumique de fluide froid :  $847 \text{ kg/m}^3$
- Masse volumique de fluide chaud :  $847 \text{ kg/m}^3$
- Coefficient global d'échange :  $20 \text{ kw/m}^2\text{k}$
- Débit massique de fluide froid :  $130 \text{ kg/s}$
- Débit massique de fluide chaud :  $350 \text{ kg/s}$
- Surface de contact :  $10 \text{ m}^2$
- Capacité calorifique de fluide froid :  $4,18 \text{ kJ/kg.k}$
- Capacité calorifique de fluide chaud :  $1,005 \text{ kJ/kg.k}$

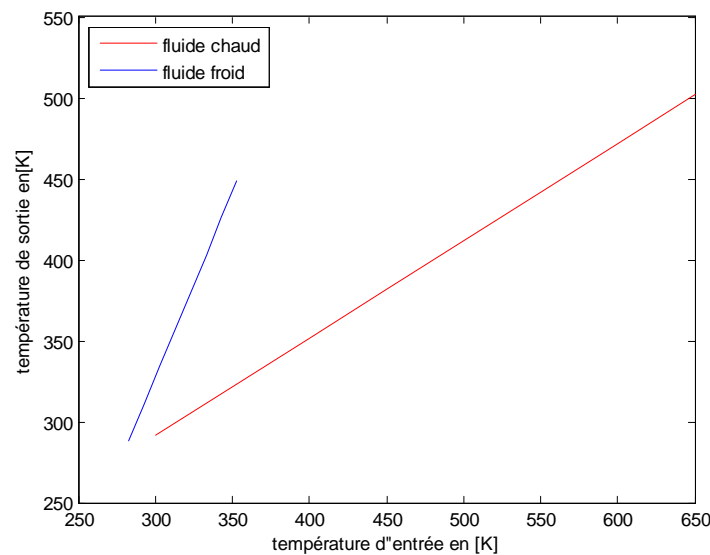
$T_{ce}$	$T_{fe}$	$T_{cs}$	$T_{fs}$	$\Delta TLM_{co}$	$\Delta TLM_{cc}$	$Q_{tot}$
<b>300</b>	283	293.431973	287.25157045	8.1027556980	11.551516926	2310.3033853
<b>350</b>	293	327.977792	307.25526564	27.168063223	38.731556754	7746.3113509
<b>400</b>	303	362.523612	327.25896083	46.233370747	65.911596583	13182.319316
<b>450</b>	313	397.069432	347.26265602	65.298678272	93.091636411	18618.327282
<b>500</b>	323	431.615251	367.26635121	84.363985797	120.27167623	24054.335247
<b>550</b>	333	466.161071	387.27004639	103.42929332	147.45171606	29490.343213
<b>600</b>	343	500.706890	407.27374158	122.49460084	174.63175589	34926.351179
<b>650</b>	353	535.252710	427.27743677	141.55990837	201.81179572	40362.359144

**Tableau III.1** : Résultats de simulation lorsque  $S=10 \text{ m}^2$ .

$T_{ce}$	$T_{fe}$	$S$	$T_{cs}$	$T_{fs}$	$\Delta TLM_{co}$	$\Delta TLM_{cc}$	$Q_{tot}$
350	283	10	324.114247	295.9964325	42.14339013	45.526566711	9105.313342
350	283	15	316.583273	304.6310884	31.93439010	42.143390133	11754.33346
350	283	20	310.928107	308.2917525	19.89420889	19.894208891	13743.538355
350	283	25	306.545135	311.1289081	11.25198649	11.25198649	15285.248704
350	283	30	303.064212	313.3821555	13.17931227	13.179312271	16509.663337
350	283	35	300.245704	315.2066130	10.81915863	10.81915863	17501.073506
350	283	40	297.927603	316.7071503	18.16829208	18.168292084	18316.465519
350	283	45	295.996432	317.9572227	10.14082619	10.140826199	18995.754838

**Tableau III.2 :** Résultats de simulation lorsque  $S$  variable.

### III.3 Les résultats de la simulation



**Figure III.1 :** Variation des températures des fluides chaud et froide à l'entrée en fonction des températures chaude et froide à la sortie pour la configuration à contre courant.

#### III.3.1 Influence de la température des deux fluides chaud et froid en entrée sur la température en Sortie

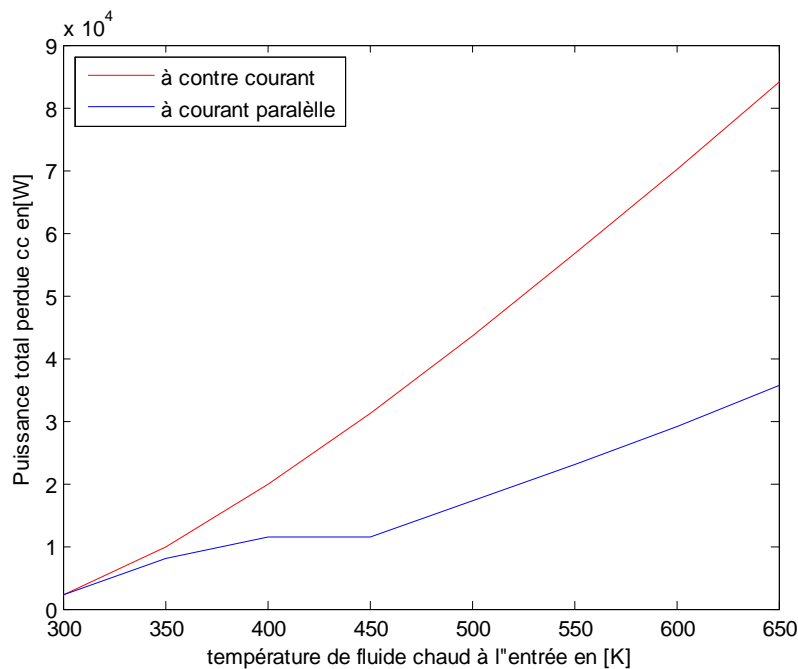
L'influence pour les deux fluides est identique, on constate que pour les températures de fluide froid de l'entrée à la sortie similaire de [260 k-500 k], et les températures de fluide chaud de l'entrée à la sortie similaire de [280 k-450 k]. La comparaison entre les deux courbes montre que l'écart de température de fluides chauds est plus grand que celle de fluide froid et cela prouvé le transfert de chaleur entre les deux fluides. Nous observons aussi que la température de sortie et d'entrée

se rapprochent au début. Ensuite, la température de fluide froid et de fluide chaud augmentent et se distancient. (Voir figure III.1)

### III.3.2 Influence de la température de fluide chaud en entrée sur la puissance échange

On remarque sur la figure III.2 que la puissance totale échangée croît avec l'augmentation de la température de fluide chaud en entrée, pour une plage de température de [300 k-650 k], la différence de puissance de l'ordre de  $8.10^4$  Watt pour les échangeur à contre courants est  $3.10^4$  pour les échangeur à courant parallèle, cela veut dire que le régime de fonctionnement de l'échangeur (Contre Courant ou à courant parallèle) croît avec l'augmentation de la température de fluide chaud à l'entrée.

La comparaison montre que la puissance échange de l'échangeur à contres courants est plus importante que celle des échangeurs à courants parallèle.



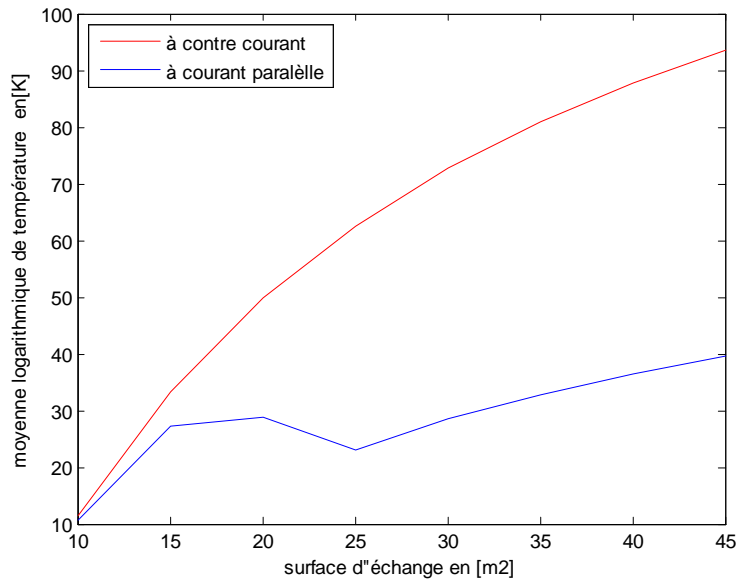
**Figure III.2** : Variation des températures des fluides chauds à l'entrée en fonction de la puissance totale perdue pour la configuration à contre courant.

### III.3.3 Influence de la surface d'échange sur la moyenne logarithmique de la température $\Delta TLM$

On remarque dans la figure III.3 que la moyenne logarithmique de température croît avec l'augmentation de la surface d'échange, pour une plage de surface de [10 m<sup>2</sup> - 45 m<sup>2</sup>], la moyenne logarithmique de la température de l'ordre de 83 k pour les échangeur à contre courants et 40 k pour

les échangeur à courant parallèle, cela veut dire que le régime de fonctionnement l'échangeur (Contre Courant ou à courant parallèle) croit avec l'augmentation de la surface d'échange.

La comparaison montre que la variation de la surface de contact dans l'échangeur à contres courants est plus importante que celle des échangeurs à courants parallèle.

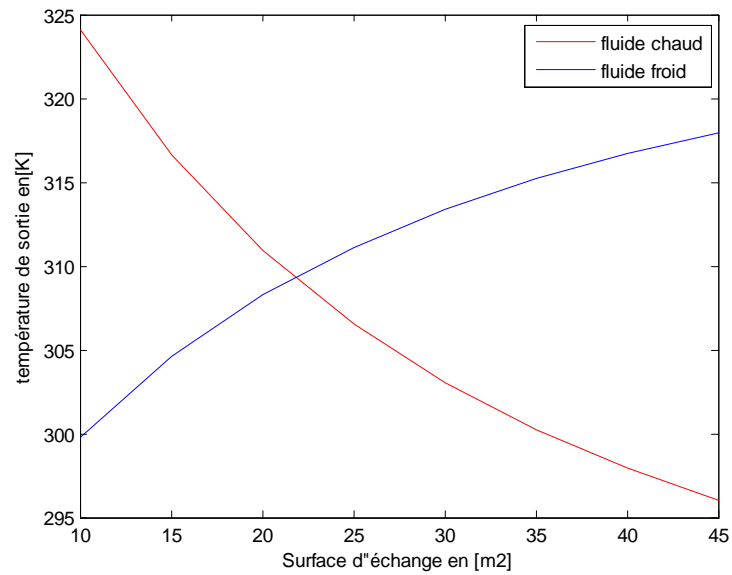


**Figure III.3 :** Variation de la moyenne logarithmique de température en fonction de la surface d'échange. Lorsque  $T_{ce} = 400$  k, et  $T_{fe} = 283$  k

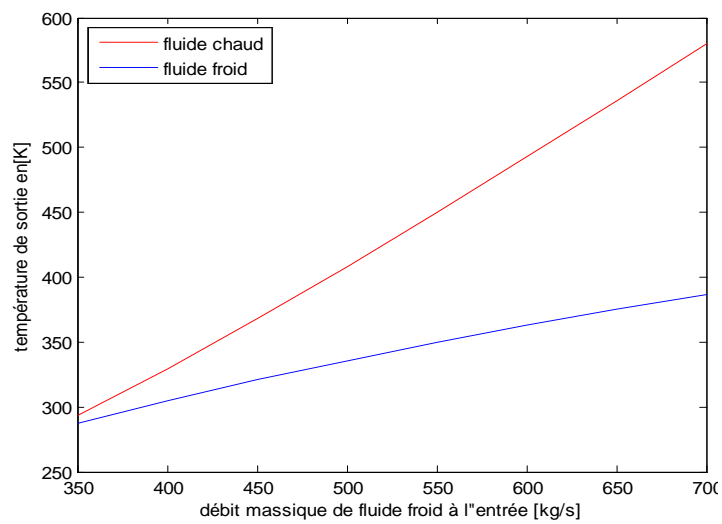
### III.3.4 Influence de la surface d'échange sur les températures des fluides chaud et froid

On remarque dans la figure III.4 que le fluide froid et le fluide chaud dans la température de sortie est comme se suit. La température de sortie de fluide froid (bleu) est 300[K] et la température de sortie de fluide chaud (rouge) est équivalente à 324[K]. Ensuite le fluide froid augmente mais le fluide chaud diminue.

. Enfin, le fluide froid est supérieur que le fluide chaud en fonction de débit surface d'échange.



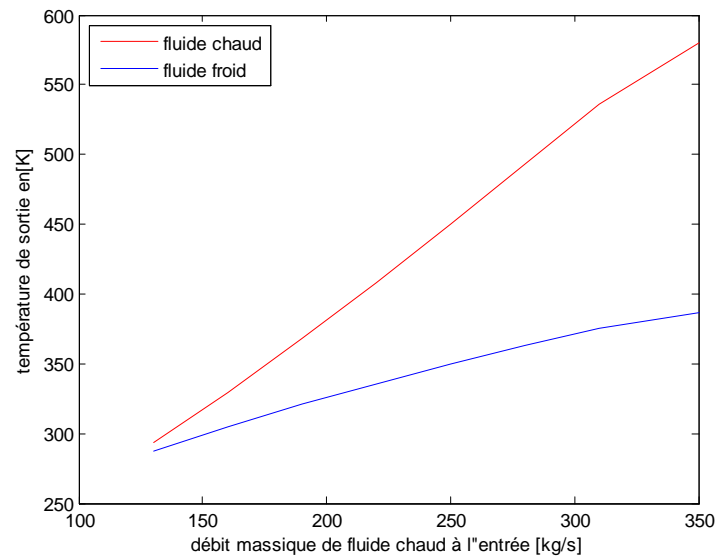
**Figure III.4 :** Variation des températures des fluides chaud et froid en fonction de la surface d'échange pour un échangeur de configuration à contre courant.



**Figure III.5 :** Variation de la moyenne logarithmique de température sur la surface d'échange pour un échangeur de configuration à contre courant.

### III.3.5 Influence de débit massique de fluide froid et chaud à l'entrée sur les températures de fluides chaud et froid à la sortie

On remarque dans les deux figures III.5 et III.6 les températures à la sortie des deux fluides croît avec l'augmentation de débit massique en entrée c'est à dire la relation entre les températures des fluides en sortie et le débit massique montre une linéaire proportionnalité, ce qui implique que l'augmentation de débit massique en entrée fait l'augmentation des températures des fluides en sortie, cela influe négativement sur la plage de refroidissement et l'efficacité de l'échangeur.



**Figure III.6 :** Variation des températures de fluides chaud et froid à la sortie en fonction de débit massique de fluide froid à l'entrée.

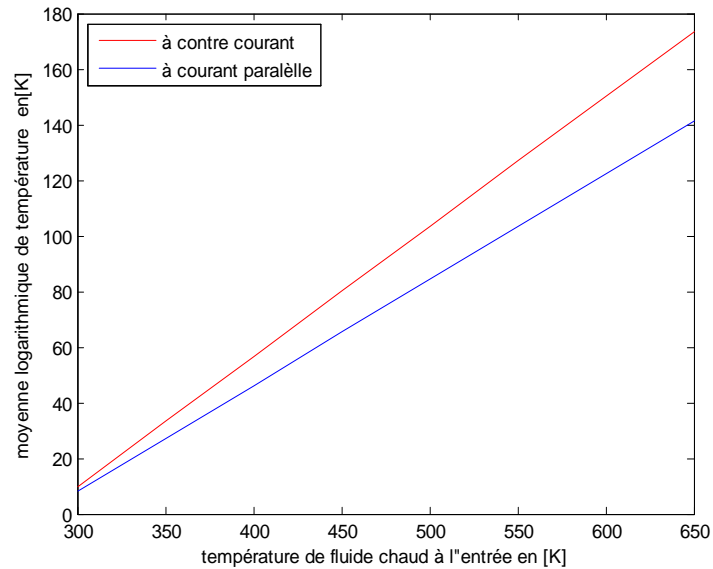
### III.3.6 Influence de la température de fluide chaud à l'entrée sur la moyenne logarithmique de température

La figure III.7 montre la variation de la moyenne logarithmique de température en fonction de la température de fluide chaud à l'entrée pour les deux configurations d'échangeur (à contre courant et à courant parallèle).

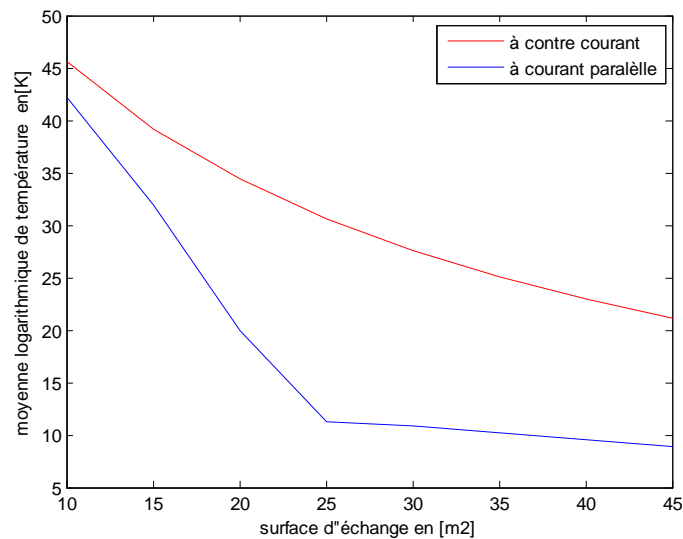
L'influence de la température de fluide chaud à l'entrée sur l'évolution la moyenne logarithmique de la température représentée sur cette figure confirme que la température de fluide chaud à l'entrée est le facteur qui influence directement sur l'efficacité de l'échangeur.

On constate une augmentation très nette de la moyenne logarithmique de température lorsque la température de fluide chaud à l'entrée croît.

En effet, on constate que plus la température de fluide chaud à l'entrée faible, plus la moyenne logarithmique de température basse.



**Figure III.7 :** Variation de la moyenne logarithmique de température en fonction de la température de fluide chaud à l'entrée.



**Figure III.8 :** Variation de la moyenne logarithmique de température en fonction de la surface d'échange.

### **III.3.7 Influence de la surface d'échange sur la moyenne logarithmique de température**

La figure III.8 montre pour une plage de surface d'échange de l'ordre de [10 à 45 m<sup>2</sup>] une inverse proportionnalité entre la surface d'échange et la moyenne logarithmique de la température pour les deux configurations.

La comparaison montre que l'influence des deux types des échangeurs est similaire, mais la moyenne logarithmique de température de l'échangeur à courant parallèle est plus basse que celle des échangeurs à contre courant.

### **III.4 Conclusion**

A partir de l'étude du comportement thermique d'un échangeur de chaleur on constate que les échanges de chaleur pour les échangeurs à contre courant sont plus importants que ceux concernant les échangeurs à courants parallèles. La même constatation est faite pour les paramètres de performance comme la moyenne logarithmique de température ( $\Delta TLM$ ), la surface d'échange et la puissance totale perdue.

## *Conclusion générale*

Dans ce mémoire, nous avons présenté une étude claire et détaillée sur les échangeurs de chaleur, leurs descriptions et surtout leurs problèmes de fonctionnement.

Parmi la diversité de ces problèmes qui risquent de réduire énormément l'efficacité et le rendement de ces appareils, on a analysé ceux de la corrosion et de l'encrassement des surfaces d'échange de chaleur.

Les calculs de la performance de l'échangeur ont montré que ces machines sont influencées par la température de fluide chaud d'entrée considérablement durant les différents régimes d'écoulement.

Nous avons réalisé un programme en langage MATLAB, basé sur la méthode moyenne logarithmique de la température permet de déterminer les performances thermiques de l'échangeur de chaleur dans les deux configurations (à courant parallèle et à contre courant).

Notre programme constitue une plate-forme solide pour des études plus approfondies beaucoup dans les domaines de l'analyse thermique des installations industrielles, comme l'échangeur de chaleur qui fait l'objet de notre étude.

Nous avons proposé dans le cadre de ce mémoire ces actions à entreprendre en vue d'améliorer le fonctionnement et l'efficacité de l'échangeur de chaleur.

## *Références Bibliographie:*

### *Livres et ouvrages:*

- [1] Mémoire de fin d'étude << Amélioration des performances d'un échangeur de chaleur >> (promotion 2002).
- [2] Mémoire de fin d'étude << Maintenance d'une chaudière contre les effets de la corrosion et de l'entartrage des surfaces de chauffe >> (promotion 2006).
- [3] Technique de l'ingénieur.
- [4] Mémoire de fin d'étude << Etude et optimisation de l'échangeur de chaleur >> (promotion 2008).
- [5] N.BELLEL. Les échangeurs de chaleurs, cours 1ère post graduation université Mentouri Constantine , Algérie, année 2007-2008
- [6] R.BESSAIH. Transfert de chaleur et de matière, publication de l'université Mentouri Constantine 1994
- [7] Mémoire de fin d'étude <<Optimisation des changeur de chaleur a tribble tubeconcentrique >> (promotion 2008).
- [8] A.mezmiz. Mini projet 1éré post graduation " différent type d'échangeur" del'université Mentouri Constantine 2006