

République Algérienne Démocratique et Populaire
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Université Blida 1
جامعة البليدة 1
Faculté de Technologie
كلية التكنولوجيا
Département de Génie Mécanique
قسم الهندسة الميكانيكية
Spécialité Optimisation des Systèmes
Energétiques
تخصص فعالية الانظمة الطاقوية



*Mémoire de Fin d'Etudes
pour l'Obtention du Diplôme de Master*

Thème :

***Conception d'un Outil D'aide à la Décision pour le
Choix et le Dimensionnement d'Un Echangeur de
Chaleur***

Fait par :

Bougrine Aicha

Encadré par :

Dr N.Khelalfa (Université Blida 1)

Pr T.Benabdellah (ENP Oran)

Promotion : 2016-2017

ملخص

المبادلات الحرارية هي الاداة الاساسية لاستعادة وتحويل الطاقة في الصناعات. اثناء القيام بعملية التحجيم، تقابلنا مشكلة الاختيار التكنولوجية و ذلك بسبب تنوع المبادلات الحرارية. نقوم دراستنا على انشاء أداة للمساعدة في القرار التي تسهل الاختيار والتحجيم و التي تستند على طريقة التفعيل Tabou. برنامج اداة للمساعدة DSS (Decision Support System) تم تطويره وتقديمه عبر واجهة رسومية و التي تسمح للمستخدم أن يختار المبادل الأمثل. **الكلمات المفتاحية:** مبادل حراري، طريقة Tabou، الاختيار التكنولوجي، التحجيم.

Abstract

Heat exchangers are key elements for the recovery and conversion of energy in industries. When they are dimensioned, there is the problem of technological choice which manifests itself because of the variety of heat exchangers. Our study is the creation of a decision-making tool that facilitates choice and sizing. This work is based on the Tabou method. A DSS (Decision Support System) is developed and presented in the form of a graphical interface that will allow the user to choose the optimal exchanger.

Key words: heat exchanger, Tabou method, technological choice, DSS, sizing.

Résumé

Les échangeurs thermiques sont des éléments clés pour la récupération et la conversion d'énergie dans les industries. Lors de leurs dimensionnements, on rencontre le problème de choix technologique qui se manifeste à cause de la variété des échangeurs de chaleur.

Notre étude est la création d'un outil d'aide à la décision qui facilite le choix et le dimensionnement.

Ce travail est basé sur la méthode de Tabou. Un DSS (Decision Support System) est développé et présenté sous forme d'une interface graphique qui permettra à l'utilisateur de choisir l'échangeur optimal.

Mots clés : échangeur de chaleur, méthode de tabou, choix technologique, DSS, dimensionnement.

Remerciements

En premier lieu, nous tenons à remercier notre DIEU, notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.

Mes plus sincères remerciements : Aux membres du jury ; qu'ils soient remerciés de nous avoir fait l'honneur de juger notre travail.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma sincère gratitude à Mme N.KHELALFA et Mr T.BENABDELLAH pour la confiance qu'ils ont bien voulu m'accorder en acceptant de diriger ce mémoire pour la qualité de son encadrement, ses précieuses orientations, sa simplicité et sa patience.

*Nous voudrions aussi exprimer toute notre gratitude à :
Mme : KARADANIZ et Mr : T.MOUSSAOUI pour l'aide qu'ils nous ont apportés.*

Nos derniers remerciements, vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

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

·
A celui qui a été la source de couragemerci ISSAM

·
A la mémoire de mon père qui nous a quitté voilà cinq ans.

A ma sœur ZAHRA et mon frère CHOUAIB.

Et à toute ma famille.

A toutes mes amis de près ou de loin.

Sommaire

Résumé	I
Remerciements	II
Dédicace.....	III
Sommaire.....	IV
Liste des figures.....	V
Liste de tableaux.....	VI
Nomenclature	VII
Introduction générale.....	3
Chapitre I : Généralités Sur les Echangeurs de Chaleur	6
I-1 : Définition.....	6
I-2 : Principe général de fonctionnement	6
I-3: Composition d'un échangeur	7
I-4 : Les types des échangeurs de chaleur	7
I-4-1 : La famille tubulaire.....	7
I-4-1-a : L'échangeur monotube	8
I-4-1-b : L'échangeur coaxial	8
I-4-1-c : L'échangeur multitubulaire	8
I-4-2 : La famille à plaques	9
I-D-2-a : Les échangeurs à plaques et joints	9
I-D-2-b: Les échangeurs à plaques soudées.....	10
I-4-2-c : Les échangeurs de chaleur à plaques brasées	10
I-5 : Principaux buts et fonctions d'un échangeur de chaleur	11
I-6 : Critères de classement des échangeurs	12
I-F-1 : Type de contact	12
I-F-2 : Classement suivant la disposition des écoulements	12
I-F-4 : Classement suivant la compacité de l'échangeur	13
I-F-4 : Classement suivant la nature du matériau de la paroi d'échange	13
I-F-5 : Classement technologique	13
I-6-6 : Classement selon le nombre des fluides	13
I-7 : L'encrassement	14
I-G-1 : Définition.....	14
I-G-2 : Classification d'encrassement	14
I-G-2-a : Encrassement particulaire	16
I-G-2-b: Corrosion	16
I-G-2-c: Entartrage	17
I-G-2-d: Encrassement biologique	17
I-G-2-e: Encrassement par réaction chimique	18
I-G-2-f: Encrassement par solidification	18
I-7-2-g: Modes combines.....	18
Chapitre II: Etat de l'Art.....	21
II-1 : Quelques travaux sur les échangeurs de chaleur	21

<i>Chapitre III : Le Dimensionnement des Echangeurs de Chaleur</i>	24
<i>III-1: La complexité de dimensionnement des échangeurs de chaleur</i>	24
<i>III-2 : Les étapes de dimensionnement des échangeurs</i>	25
<i>III-2-1 : Le choix technologique</i>	26
<i>III-2-2: Le calcul thermique</i>	26
<i>III-2-2-a : Le coefficient d'échange global</i>	26
<i>III-2-2-b : La méthode ΔTLM</i>	31
<i>III-2-2-c : Méthode de NUT</i>	34
<i>III-2-3: Calcul de la perte de charges</i>	36
<i>Chapitre IV : La Problématique et la Méthodologie de Résolution</i>	38
<i>IV-1 : Problématique</i>	38
<i>IV-2 : Méthodologie</i>	38
<i>IV-2-1 : Les critères de choix</i>	39
<i>IV-2-1-a : Le domaine d'application</i>	39
<i>IV-2-1-b : La fonction</i>	39
<i>IV-2-1-c : La catégorie</i>	40
<i>IV-2-1-d : La température et la pression</i>	41
<i>IV-2-1-e : Le comportement à l'encrassement</i>	41
<i>IV-2-1-f : Le nettoyage</i>	41
<i>IV-2-1-g : Les caractéristiques des échangeurs de chaleur</i>	42
<i>IV-2-2 : Méthodes d'optimisation heuristique</i>	68
<i>IV-2-2-a : Définition</i>	68
<i>IV-2-2-b : Méthode de Recherche Tabou</i>	68
<i>IV-2-3 : Les systèmes d'aide à la décision (DSS)</i>	70
<i>IV-2-3-a : Définition</i>	70
<i>IV-2-3-b : Algorithme de DSS</i>	71
<i>Chapitre V : Guide d'Utilisation de l'Interface Graphique</i>	75
<i>V.1 : La description</i>	75
<i>V.2 : La Manipulation</i>	76
<i>V.3 : Les résultats</i>	78
<i>Chapitre VI : Les Résultats des Simulations et Commentaires</i>	81
<i>VI-1 : La première simulation</i>	81
<i>VI-1-1 : Problématique de la centrale de SKH (lieu de mon stage de master)</i>	81
<i>VI-1-2 : Commentaires</i>	84
<i>IV-1-3 : Perspectives</i>	85
<i>VI-2 : La deuxième simulation</i>	86
<i>VI-3 : La troisième simulation</i>	87
<i>VI-4 : La quatrième simulation</i>	88
<i>VI-5 : La cinquième simulation</i>	89
<i>VI-6 : La sixième simulation</i>	90
<i>VI-7 : La septième simulation</i>	91
<i>VI-8 : Discussions des résultats</i>	92

<i>Conclusion générale</i>	94
<i>Références bibliographiques</i>	

Liste des figures

Figure I.1 : Les composants d'un échangeur de chaleur	6
Figure I.2 : La matrice tournante de l'échangeur rotatif	6
Figure I.3 : Un échangeur monotube.....	7
Figure I.4 : Un échangeur coaxial	7
Figure I.5 : Un échangeur à tubes séparés.....	7
Figure I.6 : Une batterie à ailettes	7
Figure I.7 : Un échangeur tubes et calandre	8
Figure I.8 : Echangeur à plaques et joints (ALFA LAVAL).....	8
Figure I.9 : Echangeur à plaques soudées (ALFA LAVAL).....	9
Figure I.10 : les composants et fonctionnement d'un échangeur à plaques brasées	9
Figure I.11: Echangeur rotatif	10
Figure I.12: Echangeur à lit fluidisé.....	10
Figure I.13 : Aéroréfrigérant	10
Figure I.14 : classification des échangeurs selon le type de contact	12
Figure I.15 : classification des échangeurs selon la configuration de l'écoulement	12
Figure I.16 : classification fonctionnelle des échangeurs	13
Figure I.17 : classification des échangeurs selon la compacité.....	13
Figure I.18 : classification des échangeurs selon la nature de matériau.....	14
Figure I.19 : classification technologique des échangeurs de chaleur	14
Figure I.20 : classification des échangeurs selon le nombre des fluides.....	14
Figure I.21 : La corrosion dans un échangeur industriel.....	16
Figure I.22 : Entartrage d'un échangeur qui utilise l'eau de mer.....	17
Figure I.23 : encrassement biologique à cause de l'attaque des algues (SKH).....	18
Figure I.24 : Un échangeur a un problème d'encrassement combiné	19
Figure III.1 : Logique de la phase de dimensionnement	24
Figure III.2 : schéma montre le flux de chaleur ϕ transmis dans un tube cylindrique.....	26
Figure III.3 : Schéma montre la direction des deux fluides pour configuration co-courant et contre-courant.....	30
Figure III.4 : Abaques pour trouver le facteur de correction F d'un échangeur.....	33

Figure III.5 : Logique du calcul par la méthode NUT.....	34
Figure IV.1 : Les composants d'un échangeur à plaques et joints	43
Figure IV.2: Les plaques jointées.....	43
Figure IV.3 : Les caractéristiques de l'échangeur à plaques et joints	43
Figure IV.4 : Echangeur à plaques soudées (ALFA LAVAL).....	44
Figure IV.5 : les caractéristiques de l'échangeur à plaques soudées.....	44
Figure IV.6 : Les plaques brasées	45
Figure IV.7 : Echangeurs à plaques brasées.....	45
Figure IV.8: Les caractéristiques de l'échangeur à plaques brasées	45
Figure IV.9: Fonctionnement des échangeurs à plaques spiralées	46
Figure IV.10: Echangeurs à plaques spiralées	46
Figure IV.11: Les caractéristiques de l'échangeur à plaques spiralées	46
Figure IV.12 : Echangeur à plaques à ailettes	47
Figure IV.13 : Les caractéristiques de l'échangeur à plaques à ailettes.....	47
Figure IV.14: Echangeur à plaques et calandre.....	48
Figure IV.15: Les caractéristiques de l'échangeur à plaques et calandre	48
Figure IV.16 : Echangeurs platulaire	49
Figure IV.17: Composants d'échangeur platulaire	49
Figure IV.18 : Les caractéristiques de l'échangeur platulaire.....	49
Figure IV.19 : Echangeurs à plaques à microcanaux	50
Figure IV.20 : Les microcanaux.....	50
Figure IV.21: Les caractéristiques de l'échangeur à plaques à microcanaux	50
Figure IV.22 : Echangeur coaxial	51
Figure IV.23: Les caractéristiques de l'échangeur coaxial	51
Figure IV.24 : Echangeur serpentin	52
Figure IV.25 : Les caractéristiques de l'échangeur serpentin	52
Figure IV.26 : Echangeur à tubes spiralées.....	53
Figure IV.27 : La disposition des tubes dans la calandre.....	53
Figure IV.28 : Les caractéristiques de l'échangeur à tubes spiralés	53

Figure IV.29 : Echangeur à tubes ailetés.....	54
Figure IV.30 : Les caractéristiques de l'échangeur à tubes ailetés	54
Figure IV.31 : Schéma d'un échangeur tubes et calandre	55
Figure IV.32 : un condenseur tubes et calandre (ALFA LAVAL)	55
Figure IV.33 : Les caractéristiques d'un échangeur tubes et calandre	55
Figure IV.34 : La forme de la roue dans l'échangeur rotatif.....	56
Figure IV.35 : Un échangeur rotatif à l'échelle industriel	56
Figure IV.36 : Les caractéristiques de l'échangeur rotatif	56
Figure IV.37: Schéma explique le fonctionnement d'un caloduc	57
Figure IV.38 : Un échangeur à caloducs	57
Figure IV.39: Les caractéristiques de l'échangeur à caloducs	57
Figure IV.40 : Echangeur multifonctionnel	58
Figure IV.41: Les caractéristiques de l'échangeur multifonctionnel	58
Figure IV.42: Echangeur à lit fluidisé (jost)	59
Figure IV.43 : Schéma qui explique le fonctionnement d'un échangeur à lit fluidisé.....	59
Figure IV.44 : Les caractéristiques de l'échangeur à lit fluidisé.....	59
Figure IV.45: Echangeur double enveloppe.....	60
Figure IV.46 : Schéma qui explique le fonctionnement d'un échangeur double enveloppe....	60
Figure IV.47 : Les caractéristiques de l'échangeur double enveloppe.....	60
Figure IV.48 : Echangeur à surface raclée (Contherm).....	61
Figure IV.49 : Schéma qui explique le fonctionnement d'un échangeur à surface raclée	61
Figure IV.50 : Les caractéristiques de l'échangeur à surface raclée	61
Figure IV.51: La disposition des ailettes à l'intérieur du radiateur.....	62
Figure IV.52 : Radiateur en aluminium	62
Figure IV.53 : Les caractéristiques de radiateur.....	62
Figure IV.54 : Un aéro-réfrigérant	63
Figure IV.55 : Les composants d'un aéro-réfrigérant	63
Figure IV.56 : Les caractéristiques d'un aéro-réfrigérant	63
Figure IV.57 : Un faisceau en céramique.....	64

Figure IV.58 : Les caractéristiques de l'échangeur en céramique	64
Figure IV.59 : Les échangeurs en graphite	65
Figure IV.60 : Les caractéristiques de l'échangeur en graphite	65
Figure IV.61 : Les échangeurs en verre	66
Figure IV.62 : Les caractéristiques de l'échangeur en verre	66
Figure IV.63 : Echangeur tubes et calandre en polymère	67
Figure IV.64 : Echangeur rotatif en polymère	67
Figure IV.65 : Les caractéristiques de l'échangeur en polymère	67
Figure IV.66 : Algorithme de Tabou.....	69
Figure IV.67 : Organigramme de la logique Tabou	69
Figure V.1 : La description de logiciel.....	75
Figure V.2 : La fenêtre de manipulation	76
Figure V.3 : Les choix et les unités sur l'interface.....	76
Figure V.4 : Les aides sur l'interface	77
Figure V.5 : Les aides incluent dans l'interface	77
Figure V.6 : La fenêtre « Résultats »	78
Figure V.7 : La fenêtre d'enregistrement « Entrée ».....	78
Figure V.8 : Le fichier d'enregistrement.....	79
Figure VI-1 : les dépôts des algues dans l'échangeur de SKH	82
Figure VI-2: l'échangeur à plaques et joints actuel de la centrale	82
Figure VI.3 : Les données et choix de la centrale SKH	83
Figure VI.4 : les résultats de la 1 ^{ère} simulation.....	83
Figure VI.5 : Les paramètres choisis pour la 2 ^{ème} simulation	85
Figure VI.6 : Les résultats de la 2 ^{ème} simulation	85
Figure VI.7 : Les paramètres choisis pour la 3 ^{ème} simulation	86
Figure VI.8 : Les résultats de la 3 ^{ème} simulation	86
Figure VI.9 : Les paramètres choisis pour la 4 ^{ème} simulation	87
Figure VI.10 : Les résultats de la 4 ^{ème} simulation	87
Figure VI.11 : Les paramètres choisis pour la 5 ^{ème} simulation	88

Figure VI.12 : Les résultats de la 5 ^{ème} simulation	88
Figure VI.13 : Les paramètres choisis pour la 6 ^{ème} simulation	89
Figure VI.14 : Les résultats de la 6 ^{ème} simulation	89
Figure VI.15 : Les paramètres choisis pour la 7 ^{ème} simulation	90
Figure VI.16 : Les résultats de la 7 ^{ème} simulation	90

Liste des tableaux

Tableau III.1 : résistance thermique à l'encrassement des quelques fluides.....	27
Tableau III.2 : coefficient d'échange global pour quelques types d'échangeur.....	29
Tableau VI-1 : les arrêts de la centrale à cause des attaques des algues	81

Nomenclature

ρ : Masse volumique	[Kg/m ³]
μ : Viscosité dynamique	[Kg/m.s]
ν : Viscosité cinématique	[m ² /s]
V : Vitesse moyenne du fluide	[m/ s]
L : longueur	[m]
C _p : Chaleur spécifique	[j/kg°k]
λ : Conductivité thermique	[w/m°k]
h : Coefficient d'échange convectif	[w/m ² °k]
$\dot{C}$: Débits calorifique	[W /K]
$\dot{m}$: débit massique de fluide	[kg/h]
T : Température de fluide	[K]
φ : Flux de chaleur	[KW]
r : Rayon	[m]
S : Surface	[m ²]
R _{en} : Résistance thermique due à l'encrassement	[m ² .k/W]
U : Coefficient d'échange global	[W/m ² K]
ε : Efficacité de l'échangeur de chaleur	

Indices

C : Le fluide chaud

f : Le fluide froid

e : Entrée

s : Sortie

Introduction Générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Au cours du quart de siècle passé, l'importance des échangeurs de chaleur a augmenté énormément du point de vue de la conservation de l'énergie, la conversion, la récupération et la mise en œuvre réussie des nouvelles sources d'énergie. Son importance est également en augmentation du point de vue des préoccupations environnementales telles que la pollution thermique, la pollution atmosphérique, la pollution de l'eau et l'élimination des déchets.

Dans les sociétés industrielles, l'échangeur de chaleur est un élément essentiel de toute politique de maîtrise de l'énergie. Une grande part (90 %) de l'énergie thermique utilisée dans les procédés industriels transite au moins une fois par un échangeur de chaleur, aussi bien dans les procédés eux-mêmes que dans les systèmes de récupération de l'énergie thermique de ces procédés.

Avant d'utiliser un échangeur de chaleur dans un système quelconque, il faut faire un dimensionnement .ce dernier passe par plusieurs étapes :

- ❖ Le choix technologique qui est la tâche de thermicien.
- ❖ Le calcul thermique qui dépend des données : soit la méthode de ΔT_{ML} (différence de température moyenne logarithmique) ou la méthode NUT (nombre d'unités de transfert).
- ❖ Le calcul des pertes de charge.

Vu la diversité des échangeurs de chaleur, le souci majeur lors de leurs dimensionnements est le choix de la technologie qui répond aux maximum des contraintes.

L'objectif de notre travail est l'étude de choix technologique des échangeurs thermiques par création d'un outil d'aide à la décision qui permettra au thermicien d'optimiser son choix, de garantir le dimensionnement et de minimiser le temps de travail.

Notre étude est basée sur la méthode d'optimisation heuristique qui a le but de trouver une solution admissible en un temps raisonnable, exactement la méthode de Tabou.

Le présente mémoire comporte six chapitres :

- 3 Après cette brève introduction, nous abordons dans le premier chapitre une généralité sur les échangeurs.

Introduction générale

- ✧ Le deuxième chapitre est une étude bibliographique couvrant les études analytiques, numériques et expérimentales sur les outils employés pour l'amélioration des échangeurs de chaleur.
- ✧ Le troisième chapitre présente le dimensionnement des échangeurs de chaleur en citant les différentes étapes et méthodes utilisées pour le mode dimensionnement et mode évaluation.
- ✧ Dans le quatrième chapitre nous avons décrit la problématique et présenté la méthodologie de résolution en utilisant la méthode heuristique de tabou.
- ✧ Concernant le cinquième chapitre nous sommes rédigés un guide de DSS et nous évaluerons et discuterons les résultats de simulation dans le dernier chapitre.
- ✧ Finalement, ce mémoire sera terminé par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus et les perspectives proposés pour ce travail.

Chapitre I

Généralités sur les Echangeurs de Chaleur

Chapitre I : Généralités Sur les Echangeurs de Chaleur

Les échangeurs de chaleurs sont des appareils très utilisés dans tous les domaines industriels tels que:

- ✓ Agroalimentaire
- ✓ Pharmacie
- ✓ Récupération d'énergie
- ✓ Climatisation

L'importance de cet appareil, nous amène à développer les définitions et les généralités nécessaires à la compréhension de ces dispositifs très largement utilisées en milieu industriel.

I-1 : Définition

Un échangeur de chaleur est un appareil fortement utilisé dans le domaine du transfert thermique entre deux ou plusieurs fluides et à des températures différentes.

Dans la plupart des échangeurs de chaleur, les fluides sont séparés par une surface, et idéalement, il n'y a pas de mélange [1].

Des exemples d'échangeurs de chaleur couramment utilisés :

- ✓ les radiateurs d'automobiles.
- ✓ les condenseurs.
- ✓ les évaporateurs.
- ✓ les réchauffeurs d'air.
- ✓ refroidisseurs d'huile.

I-2 : Principe général de fonctionnement

Le principe le plus général consiste à faire circuler deux fluides à travers des conduits qui les mettent en contact thermique.

Les deux fluides sont mis en contact thermique à travers une paroi qui est le plus souvent métallique ce qui favorise les échanges de chaleur. Les deux fluides échangent de la chaleur à travers la paroi d'où le nom de l'appareil.

Le principe général est simple mais il donne lieu à un grand nombre de réalisations différentes par la configuration géométrique.

Le principal problème du thermicien, consiste à définir une surface d'échange suffisante entre les deux fluides pour transférer la quantité de chaleur nécessaire dans une configuration donnée.

Chapitre I

La quantité de chaleur transférée dépend de la surface d'échange entre les deux fluides mais aussi de nombreux autres paramètres ce qui rend une étude précise de ces appareils assez complexe. Les flux de chaleur transférés vont aussi dépendre des températures d'entrée et des caractéristiques thermiques des fluides (chaleurs spécifiques, conductivité thermique) des fluides ainsi que des coefficients d'échange par convection.[2]

I-3: Composition d'un échangeur

Un échangeur de chaleur est constitué d'éléments d'échange de chaleur (figure I.1) tels que:

- ✓ un noyau ou une matrice contenant la surface de transfert de chaleur.
- ✓ les éléments de distribution de fluides comme les en-têtes ou les réservoirs, les buses ou les tuyaux d'entrée et de sortie...etc.

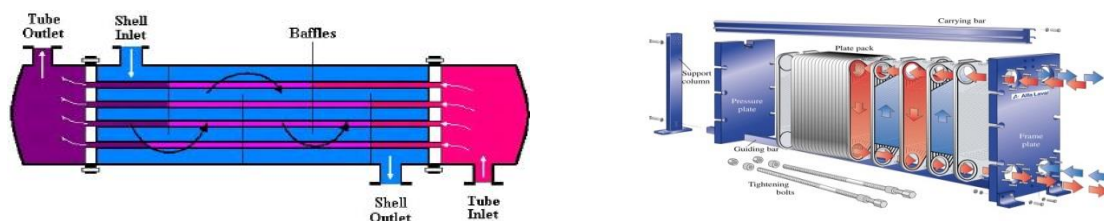


Figure I.1 : Les composants d'un échangeur de chaleur

Habituellement, il n'y a pas de pièces mobiles dans l'échangeur de chaleur, mais il y a des exceptions, comme le récupérateur rotatif (Figure I.2) dans lequel la matrice est entraînée en rotation à une vitesse déterminée.

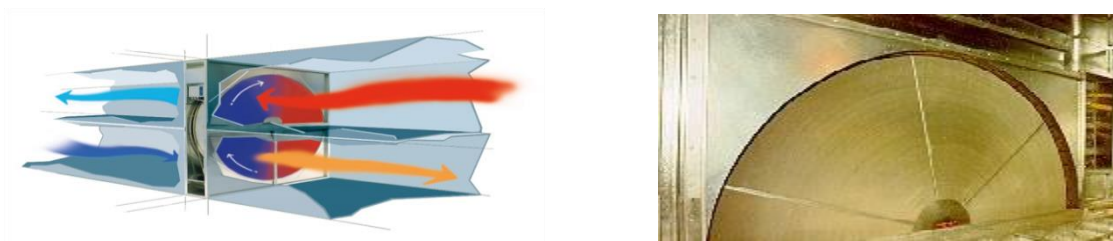


Figure I.2 : La matrice tournante de l'échangeur rotatif

La surface de transfert de chaleur est en contact direct avec les fluides et à travers laquelle la chaleur est transférée par conduction. La partie de la surface qui sépare les fluides est appelée la surface de contact primaire ou directe. Afin d'augmenter la surface de transfert, des surfaces secondaires connus comme des ailettes peuvent être fixées à la surface principale. [3]

I-4 : Les types des échangeurs de chaleur:

On distingue deux grandes familles :

I-4-1 : La famille tubulaire

Les échangeurs tubulaires représentent encore près de la moitié des échangeurs thermiques utilisés dans l'industrie. Ils présentent un certain nombre d'avantages :

- ✓ Ils sont particulièrement faciles à fabriquer.

Chapitre I

- ✓ Relativement bon marché.
- ✓ De maintenance aisée.
- ✓ Ils peuvent être utilisés surtout à des pressions élevées et à de fortes températures.
- ✓ Leur robustesse et leur fiabilité contrebalancent leur encombrement [4].

On distingue, le plus souvent, trois catégories :

I-4-1-a : L'échangeur monotube

Un tube ayant généralement la forme d'un serpentín est lacé à l'intérieur d'un réservoir (Figure I.3) [3].



Figure I.3 : Un échangeur monotube .

I-4-1-b : L'échangeur coaxial (ou « tube-in-tube »)

Deux tubes sont imbriqués l'un dans l'autre. En général, le fluide chaud ou à haute pression s'écoule dans le tube intérieur (Figure I.4) [3].

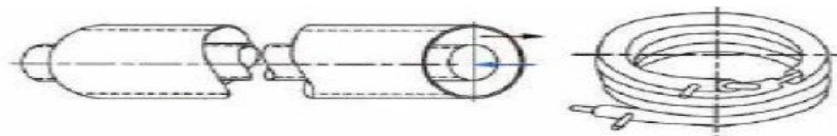


Figure I.4 : Un échangeur coaxial .

I-4-1-c : L'échangeur multitubulaire

Il peut exister sous trois formes :

- ✓ Échangeur à tubes séparés :

A l'intérieur d'un gros tube sont placés plusieurs petits tubes, maintenus écartés par des entretoises (Figure I.5) [3].

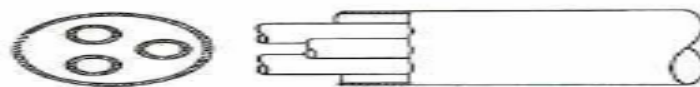


Figure I.5 : Un échangeur à tubes séparés [3].

- ✓ Échangeur à tubes à ailettes (batteries à ailettes) :

Il est constitué d'un faisceau de tubes, répartis en nappes, dans lesquels circule un fluide ayant un bon coefficient d'échange (liquide ou fluide frigorigène). Le fluide extérieur étant un gaz, on met des ailettes sur la face externe des tubes pour en améliorer l'échange (Figure I.6) [3].

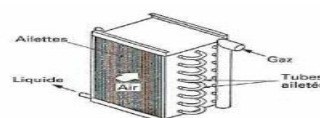


Figure I.6 : Une batterie à ailettes .

Chapitre I

✓ Échangeur à tubes et calandre :

Ils sont constitués d'un faisceau de tubes placé dans une enveloppe (calandre). Les tubes sont maintenus par des plaques (perforées) qui servent également de chicanes pour l'écoulement du fluide circulant côté calandre (Figure I.7) [3].

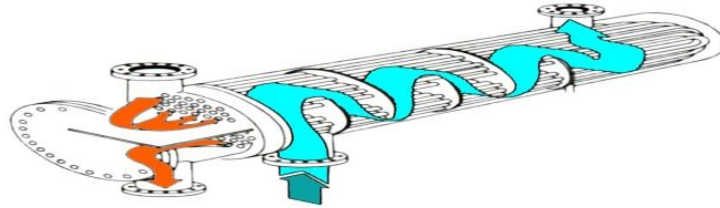
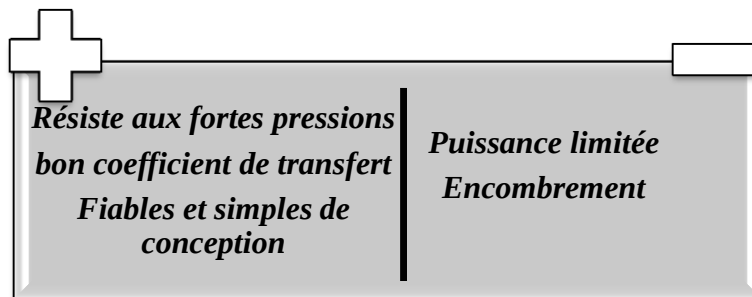


Figure I.7 : Un échangeur tubes et calandre .

Les avantages et les inconvénients des échangeurs tubulaires [4] :



I-4-2 : La famille à plaques

De création plus récente que les échangeurs tubulaires, les échangeurs à plaques ont subi depuis leur création, il y a environ 60 ans, des améliorations substantielles. On distingue trois types :

I-4-2-a : Les échangeurs à plaques et joints

A l'origine inventés pour la pasteurisation du lait dans les années 1920, les échangeurs à plaques et joints connaissent un véritable développement depuis les années 1970 grâce à différents progrès technologiques.

Ils sont souvent plus économiques que les échangeurs tubulaires et ils présentent l'avantage de permettre une efficacité énergétique et des gains économiques réels (Figure I.8) [3].

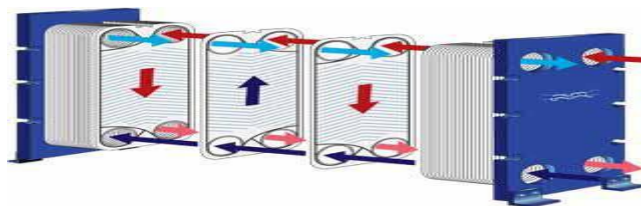


Figure I.8 : Echangeur à plaques et joints (ALFA LAVAL)

Chapitre I

I-4-2-b: Les échangeurs à plaques soudées

On a constaté que :

- ✓ les échangeurs de chaleur tubulaires sont puissants mais encombrants.
- ✓ les échangeurs à plaques et joints sont compacts mais moins résistants à la pression.

Pour ces raisons et afin d'avoir un meilleur échangeur, les thermiciens ont associés les avantages des uns et des autres afin d'obtenir un échangeur de chaleur à plaques soudées.

Son fonctionnement est similaire à celui de l'échangeur thermique à plaques et joints (Figure I.9) [3].



Figure I.9 : Echangeur à plaques soudées (ALFA LAVAL).

I-4-2-c : Les échangeurs de chaleur à plaques brasées

Ils sont constitués d'un nombre variable de plaques corruguées (c'est-à-dire striées de manière transversale) de haute qualité. Celles-ci sont la plupart du temps en acier inoxydable ou en cuivre et une plaque sur deux est retournée à 180°.

Chacun des deux fluides circule donc à contre-courant de part et d'autre des plaques d'échange. Cela permet entre autres de maximiser la surface d'échange utile (Figure I.10) [3].

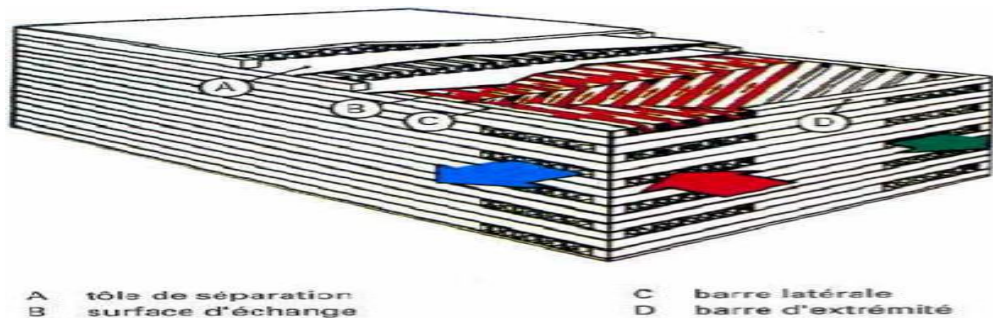


Figure I.10 : les composants et fonctionnement d'un échangeur à plaques brasées .

Les échangeurs de chaleur à plaques brasées sont l'un des types d'échangeurs thermique les plus utilisés dans les industries du génie climatique [3].

Il existe d'autres types tels que:

- ✓ Les échangeurs à plaques spiralées.
- ✓ Les échangeurs à plaques à ailettes.
- ✓ Les échangeurs à plaques à microcanaux.
- ✓ Les échangeurs platulaires.

Chapitre I

Les avantages et les inconvénients des échangeurs à plaques [4] :

	
Moins encombrant que les tubulaires	Faible écart de température possible
Très bon transfert de chaleur	Régulation difficile
Peu de perte thermique	Risque de fuite
Modulable	Éviter l'usage de produit chimique

Et il existe d'autres types d'échangeurs de chaleur comme (Figure I.11, Figure I.12, Figure I.13):



Figure I.11 : Echangeur rotatif



Figure I.13 : Aéroréfrigérant



Figure I.12 : Echangeur à lit fluidisé

Chapitre I

I-5 : Principaux buts 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 :

- ⌘ Préchauffeur ou refroidisseur d'un liquide ou d'un gaz (air par exemple) pour lesquels de très nombreux exemples pourraient être rappelés et qui se caractérise par une fonction simple : le contrôle de la température du fluide en un point particulier du procédé.
 - ⌘ Récupérateur thermique qui permet d'introduire la notion de valorisation de l'énergie thermique d'un procédé. La fonction de cet échangeur est alors d'assurer le transfert d'une capacité thermique maximale afin de permettre une valorisation maximale du rejet thermique sur des critères énergétiques et économiques.
 - ⌘ Capteurs ou émetteurs thermiques dont les équipements ont pour fonction, respectivement, d'associer réception d'énergie thermique et transmission vers l'usage. Les exemples les plus courants sont les capteurs solaires thermiques ainsi que les radiateurs domestiques qui assurent le confort thermique dans un bâtiment.
 - ⌘ Déshumidificateurs 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 : l'exemple rencontré fréquemment est le déshumidificateur d'air humide qui permet d'assurer un contrôle de l'humidité de l'air en sortie de Centrale de Traitement d'Air (CTA).
 - ⌘ Evaporateurs qui assurent l'évaporation complète ou partielle d'un liquide dans différents procédés notamment de production d'énergie mécanique (cycle moteur de Rankine, de Hirn) et de production frigorifique : cycle à compression (PAC), réfrigérateur. Condenseurs qui assurent la condensation complète ou partielle d'un gaz (vapeur) là encore par exemple pour la production d'énergie mécanique et frigorifique.
 - ⌘ Le caloduc (Heat Pipe), véritable système thermique diphasique, qui permet notamment d'assurer la dissipation de la chaleur générée par les éléments électroniques, la récupération d'énergie, le maintien en température stable et uniforme.
- [2].

Chapitre I

I-6 : Critères de classement des échangeurs

Il existe plusieurs critères de classement des différents types d'échangeurs. Énumérons les principaux.

I-6-1 : Type de contact

✓ 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.

✓ Échangeurs à contact indirect

Les deux fluides s'écoulent dans des espaces séparés par une paroi (Figure I.14) [5].

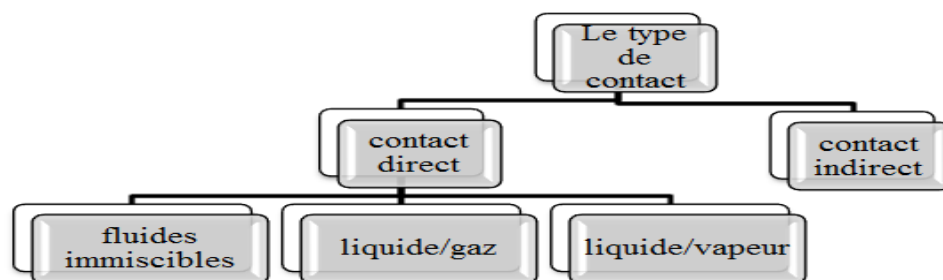


Figure I.14 : classification des échangeurs selon le type de contact

I-6-2 : Classement suivant la disposition des écoulements

Dans les échangeurs à fluide séparés, les modes de circulation des fluides peuvent se ranger en deux catégories (Figure I.15):

✓ Même sens « co-courants ».

✓ Sens contraire « contre-courant ».

✓ Ou bien les vecteurs vitesses sont perpendiculaire l'un à l'autre ; il s'agit cette fois de «courant croisés » [5].

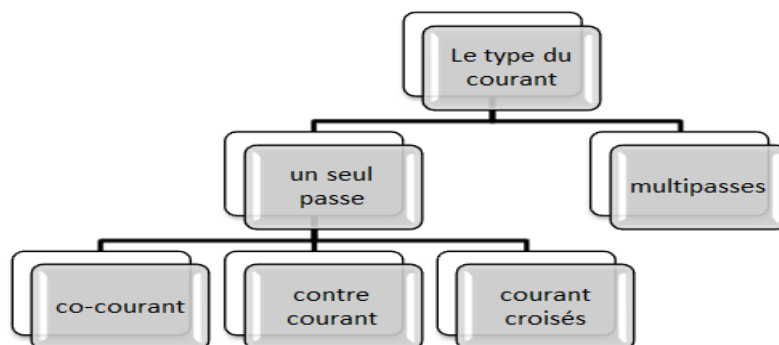


Figure I.15 : classification des échangeurs selon la configuration de l'écoulement

Chapitre I

I-6-3 : 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 (Figure I.16). 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 [5].

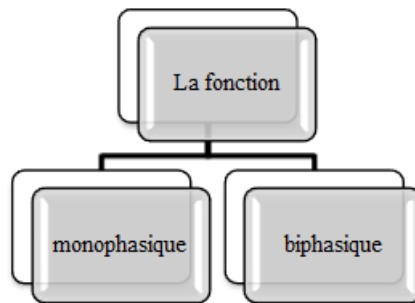


Figure I.16 : classification fonctionnelle des échangeurs

I-6-4 : Classement suivant la compacité de l'échangeur

La compacité est définie par le rapport de l'aire de la surface d'échange au volume de l'échangeur. Un échangeur soit considéré comme compact si sa compacité est supérieure à $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$; cette valeur est susceptible de varier de 500 à $800 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (Figure I.17) [5].

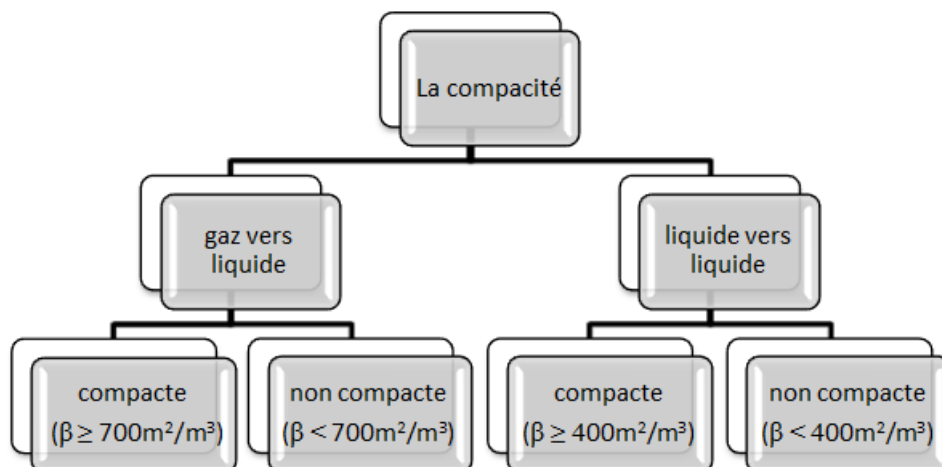


Figure I.17 : classification des échangeurs selon la compacité

I-6-4 : Classement suivant la nature du matériau de la paroi d'échange

On retiendra deux types de paroi (Figure I.18) :

Chapitre I

- ✓ les échangeurs métalliques en acier, cuivre, aluminium ou matériaux spéciaux : superalliages, métaux ou alliages réfractaires.
- ✓ les échangeurs non métalliques en plastique, céramique, graphite, verre, etc. [5]

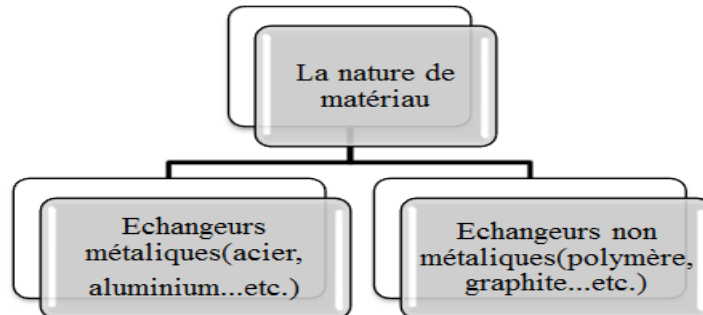


Figure I.18 : classification des échangeurs selon la nature de matériau

I-6-5 : Classement technologique

Les principaux types d'échangeurs rencontrés sont les suivants (Figure I.19) :

- ✓ à tubes : monotubes, coaxiaux ou multitubulaires.
- ✓ à plaques : à plaques brasées, soudées ou à plaques et joints.
- ✓ autres types : contact direct, à caloducs ou à lit fluidisé [5] .

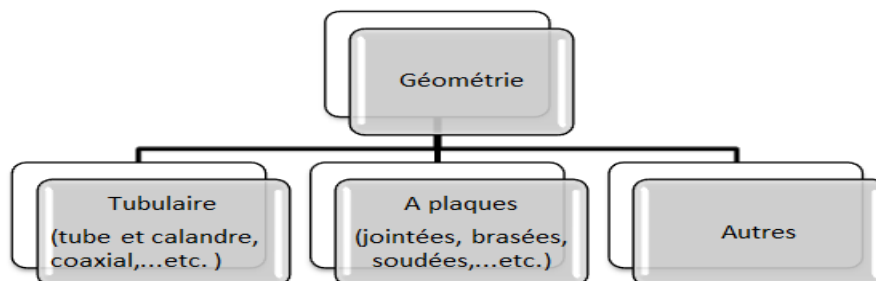


Figure I.19 : classification technologique des échangeurs de chaleur

I-6-6 : Classement selon le nombre des fluides : voir Figure I.20.

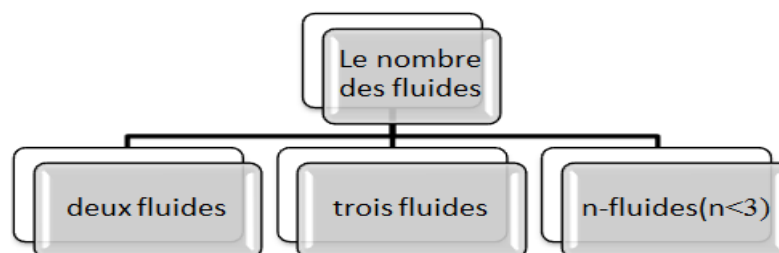


Figure I.20 : classification des échangeurs selon le nombre des fluides.

Chapitre I

I-7 : L'encrassement :

Les principaux problèmes de fonctionnement rencontrés par les utilisateurs d'échangeur de chaleur ont trait aux phénomènes d'encrassement, de corrosion, de vibrations et de tenue mécanique. L'encrassement présente l'immense problème par rapport au fonctionnement des échangeurs.

I-7-1 : Définition

L'encrassement peut être défini comme le dépôt de matériaux ou de substances indésirables sur une paroi, affecte une grande variété d'opérations industrielles. Dans le cas des échangeurs, la présence d'un fort gradient thermique près de cette paroi rend beaucoup plus complexes les mécanismes d'encrassement par rapport au cas isotherme rencontre, par exemple, lors de l'utilisation de membranes ou de filtres.

Cet encrassement, souvent inévitable dans les installations industrielles, produit deux types d'effets, on observe généralement :

- ❖ une augmentation des pertes de charge par frottement sur les parois puis une réduction de la section de passage du fluide dans l'appareil, pouvant aller jusqu'au bouchage partiel ou total de l'échangeur. Dans ce cas, on utilise le terme «colmatage».
- ❖ une dégradation des échanges de chaleur car l'encrassement crée une résistance thermique additionnelle entre les fluides chaud et froid.

L'encrassement se répercute sur la rentabilité des installations par des couts principalement liés aux pertes de production, à la surconsommation d'énergie et aux frais de nettoyage et de maintenance, et dans une moindre mesure aux surdimensionnements et aux ajouts d'équipements de nettoyage [6].

I-7-2 : Classification d'encrassement

Il est possible de classer l'encrassement selon le mécanisme qui contrôle la vitesse de dépôt, selon les conditions d'utilisation de l'échangeur ou selon le mécanisme dominant, même s'il ne contrôle pas la vitesse de dépôt. Nous adoptons, comme la plupart des auteurs, cette dernière méthode de classification. Six types différents d'encrassement peuvent alors être définis :

- encrassement particulaire.
- corrosion.

Chapitre I

- entartrage.
- encrassement biologique.
- encrassement par réaction chimique.
- encrassement par solidification [6].

I-7-2-a : Encrassement particulaire

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

- ❖ l'eau des chaudières contenant des produits de corrosion, celle des tours de refroidissement, des particules transportées par l'air et des produits de corrosion (oxydes et hydroxydes de fer).
- ❖ les écoulements gazeux pouvant être fortement chargés de particules de poussières.
- ❖ les fumées industrielles ou de moteurs thermiques comprenant des résidus solides de combustion [6].

I-7-2-b : 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. Les produits de la réaction qui se forment et restent sur la surface d'échange créent l'encrassement. Il s'agit d'un mécanisme de corrosion in situ. Lorsque l'encrassement est dû à des produits de corrosion générés ex situ, l'encrassement correspondant est du type particulaire (Figure I.21) [6].



Figure I.21 : La corrosion dans un échangeur industriel

Chapitre I

I-7-2-c : 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.

Lorsque les sels dissous sont, comme le carbonate de calcium, à solubilité inverse, le liquide devient sursaturé au voisinage de la surface d'échange plus chaude ; la cristallisation se produit alors sur la surface et le dépôt est dur et adhérent ; dans le cas contraire d'une cristallisation se produisant au sein même d'un liquide plus chaud que la surface, le dépôt est plus mou et friable.

L'encrassement par les sels à solubilité normale existe, même s'il est plus rare.

L'entartrage peut se produire dans les échangeurs refroidis à l'eau, dans les unités de dessalement d'eau de mer ou saumâtre, dans les chaudières, dans les échangeurs de l'industrie agroalimentaire, dans les systèmes géothermiques. Il existe différentes méthodes de prévention de l'entartrage (figure I.22) [6].

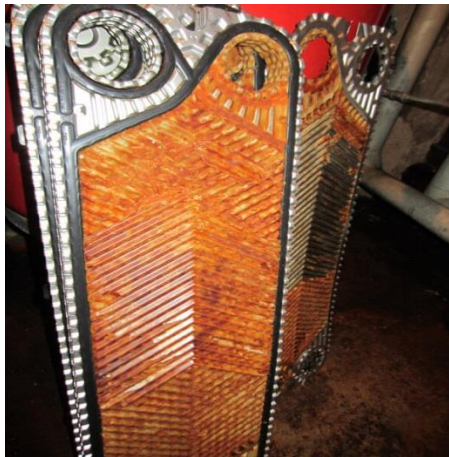


Figure I.22: Entartrage d'un échangeur qui utilise l'eau de mer

I-7-2-d : Encrassement biologique

Il est dû au développement de micro-organismes (bactéries, algues ou champignons) qui créent un film au contact de la surface d'échange : il peut même, à l'échelle macroscopique, être caractérisé par le développement de coquillages.

Les actions de prévention consistent soit à détruire les micro-organismes, soit à empêcher leur développement. Il faut signaler le cas des saumures géothermales à forte teneur en silice. Traitements correspondants utilisent des biocides et il est essentiel de maintenir la concentration du produit pendant le temps de réaction.

Le biocide le plus utilisé est le chlore qui est toxique pour la plupart des micro-organismes et a une action rapide [6].

Chapitre I

Le choix final du traitement à adopter est en général un compromis entre les problèmes de toxicité, de pollution, de coût et de maintenance.

La tendance à l'encrassement biologique (Figure I.23) est naturelle puisque les bactéries sont omniprésentes dans l'eau ; en outre, les conditions physico-chimiques rencontrées dans les échangeurs sont le plus souvent favorables à leur développement [6].

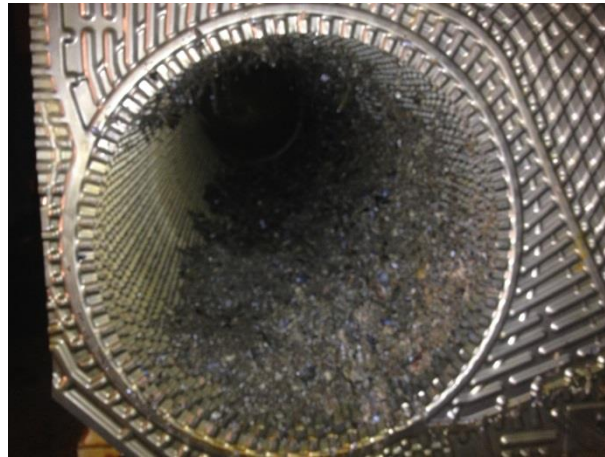


Figure I.23 : encrassement biologique à cause de l'attaque des algues (SKH)

I-7-2-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. Cette réaction est souvent une polymérisation ; il en résulte la formation d'un dépôt.

Les domaines concernés sont essentiellement l'industrie pétrochimique (craquage thermique des hydrocarbures lourds), l'industrie agroalimentaire (pasteurisation du lait) et les circuits de chauffage utilisant des fluides organiques [6].

I-7-2-f : Encrassement par solidification

Il s'agit de la solidification d'un liquide pur au contact d'une surface d'échange sous-refroidi (formation d'une couche de glace à l'intérieur des conduites forcées ou de givre) ou du dépôt d'un constituant à haute température de fusion d'un liquide au contact d'une surface de transfert de chaleur froide (dépôt d'hydrocarbures paraffinés). Une vapeur peut également se déposer sous une forme solide sans passer par l'état liquide (formation du givre) [6].

I-7-2-g: Modes combines

La plupart des dépôts réels sont le résultat de la combinaison d'au moins des deux types précédemment décrits.

Chapitre I

Dans les échangeurs refroidis à l'eau par exemple, les dépôts peuvent provenir de l'entartrage, de l'encrassement particulaire, de la corrosion in situ et de l'encrassement biologique. Au stade initial de la formation du dépôt, un type peut prédominer et accélérer ainsi la contribution des autres (Figure I.24).

Si quelques progrès ont été réalisés dans la compréhension du mode d'action des types élémentaires, leurs interactions restent encore bien souvent difficiles à préciser. L'effet de l'augmentation des pertes de charge par frottement en paroi peut également renforcer la baisse de performance de l'échangeur, si le système de pompage du fluide ne parvient pas à maintenir le débit nominal dans le cote encrasse de l'échangeur, le coefficient d'échange va alors baisser.

On peut également observer une mauvaise distribution du fluide dans les canaux d'échange quand l'échangeur comporte des canaux en parallèle (échangeur tubes et calandre ou a plaques), ce qui provoque également une baisse des performances [6].

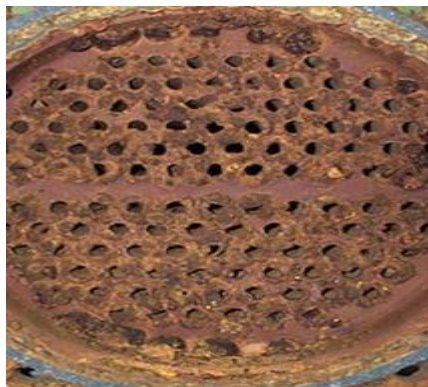


Figure I.24 : Un échangeur a un problème d'encrassement combiné

Chapitre II

Etat de l'Art

Les échangeurs de chaleur font l'objet depuis plusieurs années de multiples travaux de recherche dont le but principal est lié à l'amélioration de leurs performances.

L'objectif de ce chapitre est, de faire une étude bibliographique sur leurs caractéristiques, leurs performances ainsi que les méthodes et outils employés pour l'amélioration de ces performances.

Les ailettes sont très importantes dans les échangeurs de chaleur car ils assurent des taux élevés de transfert de chaleur. Dans la littérature, les différentes formes, orientations et emplacement des chicanes ont fait l'objet de plusieurs travaux scientifiques. En convection forcée dans les conduites en présences des obstacles ou chicanes, de nombreuses études numériques ont réalisés depuis les années 1977.

II-1 : Quelques travaux sur les échangeurs de chaleur

- ✧ *Patankar et Al* ont fait le premier travail sur l'analyse numérique de l'écoulement en convection forcée dans un conduit. Ils ont présenté le concept de l'écoulement périodique entièrement développé [8].
- ✧ *Bemer et Al* ont démontré cela pour un canal muni des chicanes avec un régime laminaire à nombres de Reynolds inférieur à 600 [9].
- ✧ *Webb et Ramadhyani* ont traité l'écoulement de fluide et le transfert thermique dans un canal à deux plaques parallèles muni des chicanes chancelées. Ces études sont basées sur les résultats de Patankar et al [10].
- ✧ *Kelkar et Patankar* ont fait une exploration numérique pour un fluide en convection forcée laminaire entre deux parois planes parallèles avec chicanes. Ces résultats montrent que :
 - l'écoulement est caractérisé par de fortes déformations.
 - les performances thermiques augmentent avec l'augmentation de la taille de chicanes et avec la diminution de l'espacement entre eux [11].
- ✧ *Cheng et Huang* ont traité la convection forcée entre deux plaques planes parallèles munies d'ailettes transversales aléatoirement placés. Leurs résultats ont indiqué que la position relative à des rangées de chicanes (grandes tailles) est un facteur influent sur le champ d'écoulement [12].
- ✧ *Guo et Anand* ont étudié à leurs tour, le transfert thermique tridimensionnel dans un canal muni d'une chicane simple dans la région d'entrée [13]. Des canaux semblables avec des

Chapitre II

tiges de perturbations ont été numériquement analysés par *Yuan et Tao* [14]. Les résultats indiquent que le nombre de Nusselt peut atteindre 4 fois celui pour un canal à paroi lisse aux mêmes conditions.

- ✧ *Yang et Hwang* ont fait une étude intéressante basée sur des chicanes pleines et poreuses dans un canal bidimensionnel avec un régime turbulent. Leurs résultats montrent que l'efficacité pour le cas poreux est meilleure par rapport au cas pleins [15].
- ✧ *Bazdid-Tehrani et Naderi-Abadi* ont étudié une analyse numérique du comportement dynamique et thermique d'un fluide s'écoulant dans une conduite avec rangées de chicanes. Leurs résultats ont montré que les chicanes sont peu inefficaces pour des grandes valeurs du rapport de blocage [16].
- ✧ *Wilfried Roetzelia* a traité expérimentalement l'effet de la distance inter chicanes sur les performances thermiques d'un échangeur de chaleur tubulaire [17].
- ✧ *M. Molki et Al* ont étudié expérimentalement la chute de pression dans une conduite rectangulaire munie des chicanes chevauchées et ils ont résultent que les chicanes augmentent rapidement :
 - La chute de pression.
 - Le coefficient de transfert de chaleur [18].
- ✧ *Ahmet Tandiroglu* a testé l'influence d'orientation et d'espacement des chicanes (il a utilisé neufs chicanes en total) sur l'amélioration du transfert thermique [19].
- ✧ *Yong-Gang Lei et Al* ont étudié les caractéristiques hydrodynamiques et de transfert thermique dans un échangeur de chaleur et ils ont assuré une comparaison des performances entre trois types d'échangeurs : sans chicanes, avec une seule chicane hélicoïdale et avec deux chicanes hélicoïdales [20].
- ✧ *Rajendra Karwa et Al* ont étudié le transfert de chaleur et les frottements dans un canal rectangulaire, asymétrique, contenant des chicanes perforées. Leurs résultats prouvent qu'on peut améliorer le nombre de Nusselt jusqu'à 82.7% avec une conduite munie des chicanes solides [21].

Chapitre III

Le Dimensionnement des Echangeurs de

Chaleur

Chapitre III : Le Dimensionnement des Echangeurs de Chaleur

Les outils à la disposition de l'ingénieur pour le dimensionnement d'un échangeur ou pour l'évaluation des performances d'un échangeur existant sont très nombreux et le choix peut alors sembler très difficile.

Ils sont en fait très complémentaires et peuvent être utilisés successivement lors d'une démarche de dimensionnement d'un appareil.

Les méthodes analytiques suffisent pour dimensionner un échangeur ou pour évaluer les performances d'un échangeur déjà défini dans le cadre d'un procédé industriel déjà bien maîtrisé et d'une gamme d'équipements classiques déjà utilisés sur un procédé similaire.

Les deux principales méthodes sont la méthode de ΔT_{ML} (différence de température moyenne logarithmique), et la méthode NUT (nombre d'unités de transfert).

III-1: La complexité de dimensionnement des échangeurs de chaleur :

Dans l'industrie des échangeurs de chaleur, les problèmes relevant de la thermo hydraulique concernant avant tout le dimensionnement thermique des appareils.

La complexité du problème de calcul thermique des échangeurs vient de plusieurs facteurs qui sont :

- ❖ La grande diversité des appareils (échangeurs tubulaires, à plaques, en graphite ...etc.)
- ❖ La variété des régimes d'écoulement : simple phase en régime turbulent ou laminaire, avec ou sans effet de convection naturelle, diphasique en évaporation ou en condensation, condensation avec ou sans incondensables...etc.
- ❖ Le nombre important des configurations d'écoulement, pouvant aller bien au-delà de deux fluides [22].

Le calcul d'un échangeur peut être abordé de deux façons différentes.

- ❖ Par un mode évaluation dans lequel la géométrie complète de l'échangeur est connue .On désire déterminer la puissance thermique échangée ainsi que les températures de sortie et les pertes de pression de chaque fluide .Dans ce mode de calcul, en plus de propriétés physiques des fluides, il convient de connaître :
 - La géométrie de l'échangeur
 - Les configurations d'écoulements

Chapitre III

- La nature et la disposition des matériaux utilisés
 - Les débits des fluides
 - La température d'entrée de chaque fluide
 - Les résistances d'encrassement [22].
- ❖ Par un mode dimensionnement dans lequel on connaît les services hydrauliques et thermiques demandés. On désire déterminer les caractéristiques géométriques de l'échangeur, en particulier les surfaces d'échange. dans ce mode de calcul, en plus de propriétés physiques des fluides, il convient de connaître :
- La puissance thermique échangée imposée
 - Les pertes de pressions maximales imposées
 - Les débits des fluides
 - Les températures d'entrée et de sortie de chaque fluide
 - Les résistances d'encrassement

La tâche de l'ingénieur est de choisir un type d'échangeur (plaques, tubes et calandre ;...), la configuration des écoulements, les matériaux, certaines caractéristiques des surfaces d'échange et déterminer la taille de l'échangeur pour remplir les services hydraulique et thermique désirés [22].

III-2 : Les étapes de dimensionnement des échangeurs :

Le dimensionnement des échangeurs passe par plusieurs étapes (Figure III.1) qui sont les suivants :

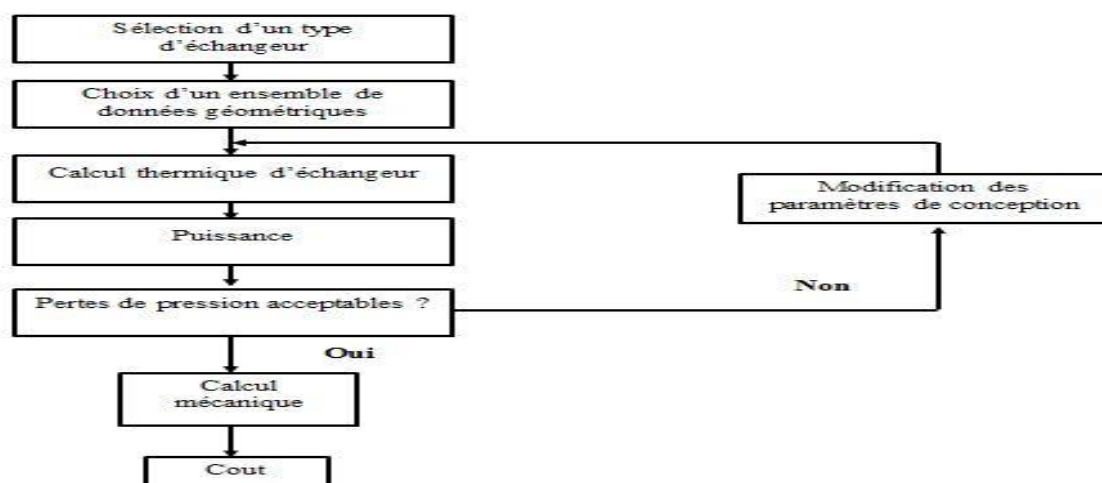


Figure III.1:Logique de la phase de dimensionnement.

Chapitre III

III-2-1 : Le choix technologique

La sélection de la meilleure technologie est liée :

- ❖ Au programme de calculs thermiques (températures voulues, pressions...).
- ❖ A la nature des fluides.
- ❖ A l'application du client (domaine d'application).
- ❖ Aux contraintes d'encrassement et de maintenance (nettoyage) [23].

III-2-2: Le calcul thermique

Le problème de dimensionnement thermique dans une installation industrielle commence, tout d'abord, par la sélection du type d'échangeur adapté au problème posé, puis vient la phase de dimensionnement thermique proprement dite ; elle est essentiellement destinée à déterminer, par le calcul, la surface d'échange nécessaire au transfert de puissance entre les fluides considérés.

Plusieurs types de calcul peuvent être envisagés. Les deux principaux sont les suivants :

1. La détermination de la surface d'échange S connaissant la puissance échangée ϕ et les températures d'entrée et de sortie des deux fluides, c'est la méthode ΔTML cette méthode est particulièrement bien adaptée au mode dimensionnement.
2. La détermination des températures de sortie des fluides connaissant leurs températures d'entrée et la surface d'échange .c'est la méthode de l'efficacité (NUT).elle est bien adapté au mode évaluation .Les deux méthodes peuvent être utilisés simultanément en particulier lorsqu'on désire varier certain grandeurs [22].

III-2-2-a : Le coefficient d'échange global :

Une première expression du flux de chaleur transféré dans un échangeur peut être déterminée en écrivant qu'il est égal au flux de chaleur perdu par le fluide chaud et au flux de chaleur gagné par le fluide froid pendant leur traversée de l'échangeur [25].

$$\phi = \dot{m}_c.C_{p_c}.(T_{ce}-T_{cs}) = \dot{m}_f.C_{p_f}.(T_{fs}-T_{fe}) \dots\dots\dots(III.1)$$

On peut l'écrire :

$$\phi = \dot{C}_c.(T_{ce}-T_{cs}) = \dot{C}_f.(T_{fs}-T_{fe}) \dots\dots\dots(III.2)$$

Chapitre III

Par ailleurs, le flux de chaleur ϕ transmis d'un fluide 1 à un fluide 2 à travers la paroi d'un tube cylindrique s'écrit (Figure III.2) :

$$\phi = \frac{\Delta T}{\frac{1}{2\pi h_1 r_1 L} + \frac{\ln(\frac{r_2}{r_1})}{2\pi \lambda L} + \frac{1}{2\pi h_2 r_2 L}} \dots\dots\dots (III.3)$$

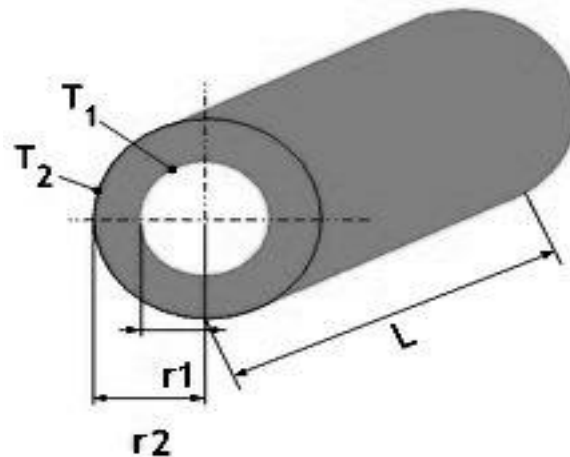


Figure III.2 : schéma montre le flux de chaleur ϕ transmis dans un tube cylindrique

Dans les échangeurs de chaleur, on choisit de rapporter le flux de chaleur échangé à la surface $S_2 = 2\pi r_2 L$, soit d'écrire :

$$\phi = h.S_2.\Delta T \dots\dots\dots (III.4)$$

Le coefficient global de transfert U d'un échangeur de chaleur s'écrit donc :

$$U = \left(\frac{r_1}{h_1 r_1} + \frac{r_2 \ln(\frac{r_2}{r_1})}{\lambda} + \frac{1}{h_2} + R_{en} \right)^{-1} \dots\dots\dots (III.5)$$

R_{en} : est une résistance thermique due à l'encrassement des surfaces d'échange dont il faut tenir compte après quelques mois de fonctionnement (entartrage, dépôts, corrosion,...). Le tableau III.1 quelques valeurs pour les fluides les plus courants [25].

Fluide	$R_{en} \text{ (m}^2 \text{ K W}^{-1}\text{)}$
Eau de mer (<50°C)	10^{-4}
Eau de mer (>50°C)	2.10^{-4}
Eau traitée pour chaudière	2.10^{-4}
Eau déminéralisée	9.10^{-5}
Vapeur d'eau	1 à 2.10^{-4}
Fluides frigorigènes	2.10^{-4}
Air industriel	4.10^{-4}
Fioul	9.10^{-4}
Huile lubrifiante	2.10^{-4}

Tableau III.1 : Résistance thermique à l'encrassement des quelques fluides

Mais, en réalité cette équation est plus complexe, puisque le coefficient d'échange convective h est en fonction de plusieurs paramètres ; la géométrie, le profil, la vitesse, la température, l'écoulement,...etc. et qui implique beaucoup d'expérience pour déterminer l'influence de chacune de ces paramètres.

La complicité des phénomènes de convection rend nécessaire l'utilisation des techniques générales permettant de limiter le nombre des paramètres influents.

Après analyse adimensionnelle et similitude faites, on est parvenu à minimiser ces paramètres en un plus petit nombre de regroupement adimensionnel ci-dessous [26].

- ℵ Le nombre de Reynolds : est le rapport des forces d'inertie aux forces de viscosité donné par la formule :

$$R_e = \frac{\rho.V.s}{\mu} = \frac{V.s}{\nu} \dots\dots\dots (III.6)$$

- ℵ Le nombre de Prandtl : c'est le rapport de la diffusivité de la matière à la diffusivité thermique donner par :

$$P_r = \frac{\mu.C_p}{\lambda} \dots\dots\dots (III.7)$$

Chapitre III

- § Le nombre de Peclet : C'est le rapport de transfert de chaleur par convection au transfert de chaleur par conduction donner par :

$$P_e = R_e \cdot P_r \dots\dots\dots (III.8)$$

- § Le nombre de Nusselt : il représente la quantité de chaleur échangée par la convection à la quantité de chaleur par conduction.

$$N_u = \frac{h \cdot s}{\lambda} \dots\dots\dots (III.9)$$

La relation liant ces grandeurs adimensionnelles est généralement du type DITTUS-BOELTER:

$$N_u = A R_e^m P_r^n \dots\dots\dots (III.10)$$

Pour le coefficient d'échange global [6], il y'a des ordres de grandeur des coefficients globaux (tableau III.2).

Types	Application	Overall Heat Transfer Coefficient - U -	
		$W/(m^2 K)$	$Btu/(ft^2 {}^\circ F h)$
Tubular, heating or cooling	Gas at atmospheric pressure inside and outside tubes	5 - 35	1 - 6
	Gas at high pressure inside and outside tubes	150 - 500	25 - 90
	Liquid outside (inside) and gas at atmospheric pressure inside (outside) tubes	15 - 70	3 - 15
	Gas at high pressure inside and liquid outside tubes	200 - 400	35 - 70
	Liquids inside and outside tubes	150 - 1200	25 - 200
	Steam outside and liquid inside tubes	300 - 1200	50 - 200
Tubular, condensation	Steam outside and cooling water inside tubes	1500 - 4000	250 - 700
	Organic vapors or ammonia outside and cooling water inside tubes	300 - 1200	50 - 200
Tubular, evaporation	steam outside and high-viscous liquid inside tubes, natural circulation	300 - 900	50 - 150
	steam outside and low-viscous liquid inside tubes, natural circulation	600 - 1700	100 - 300
	steam outside and liquid inside tubes, forced circulation	900 - 3000	150 - 500
Air-cooled heat exchangers	Cooling of water	600 - 750	100 - 130
	Cooling of liquid light hydrocarbons	400 - 550	70 - 95
	Cooling of tar	30 - 60	5 - 10
	Cooling of air or flue gas	60 - 180	10 - 30
	Cooling of hydrocarbon gas	200 - 450	35 - 80
	Condensation of low pressure steam	700 - 850	125 - 150
	Condensation of organic vapors	350 - 500	65 - 90
Plate heat exchanger	liquid to liquid	1000 - 4000	150 - 700
Spiral heat exchanger	liquid to liquid	700 - 2500	125 - 500
	condensing vapor to liquid	900 - 3500	150 - 700

Tableau III.2 : Coefficient d'échange global pour quelques types d'échangeur

Chapitre III

III-2-2-b : La méthode ΔTLM

Pour cette méthode, on suppose les hypothèses suivantes:

- ❖ Régime permanent
- ❖ La variation de température selon le sens X seulement (monodimensionnel)
- ❖ La quantité de chaleur échangée globale est composé de :
 - a. La quantité de chaleur perdue par le fluide chaud
 - b. La quantité de chaleur reçue par le fluide froid
 - c. La quantité de chaleur transférée de la plaque chaude vers le fluide froid (convection libre) [22].

Où : dT_c : différence de température chaude

dT_f : différence de température froide

La quantité de chaleur perdue
par le fluide chaud

La quantité de chaleur reçue
par le fluide froid

La quantité de chaleur
transférée de la plaque vers
le fluide froid



$$d\phi = \dot{m}_c \cdot C_{p_c} \cdot dT_c \dots (III.11)$$



$$d\phi = \dot{m}_f \cdot C_{p_f} \cdot dT_f \dots (III.12)$$



$$d\phi = U \cdot dS \cdot (T_c - T_f) \dots (III.13)$$

On considère les cas des échangeurs à courants parallèles et de même sens (anti-méthodiques ou à co-courant) et ceux de sens contraire (méthodiques ou à contre-courant) (Figure III.3).

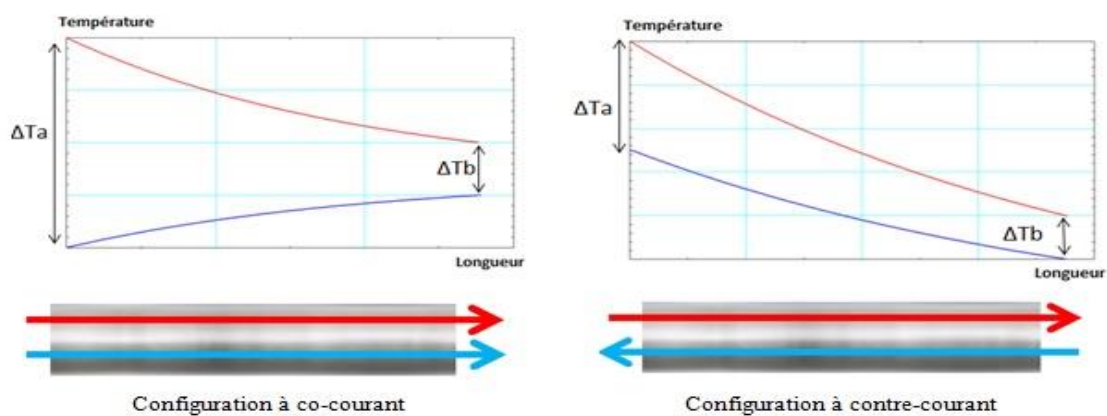


Figure III.3 : Schéma montre la direction des deux fluides pour configuration co-courant et contre-courant .

Chapitre III

On suppose que l'écoulement est co-courant et on tire :

$$\rightarrow dT_c = - \frac{d\phi}{\dot{m}_c.C_{pc}} \dots\dots\dots (III.14)$$

$$\rightarrow dT_f = \frac{d\phi}{\dot{m}_f.C_{pf}} \dots\dots\dots (III.15)$$

$$\rightarrow dT_c - dT_f = - \frac{d\phi}{\dot{m}_c.C_{pc}} - \frac{d\phi}{\dot{m}_f.C_{pf}} \dots\dots\dots (III.16)$$

$$\rightarrow d(T_c - T_f) = - d\phi \left(\frac{1}{\dot{m}_c.C_{pc}} + \frac{1}{\dot{m}_f.C_{pf}} \right) \dots\dots\dots (III.17)$$

$$\rightarrow d(T_c - T_f) = -U dS (T_c - T_f) \left(\frac{1}{\dot{m}_c.C_{pc}} + \frac{1}{\dot{m}_f.C_{pf}} \right) \dots\dots\dots (III.18)$$

Après l'intégrale :

$$\rightarrow \frac{d(T_c - T_f)}{(T_c - T_f)} = -U.S \left(\frac{1}{\dot{m}_c.C_{pc}} + \frac{1}{\dot{m}_f.C_{pf}} \right) + \ln C \dots\dots\dots (III.19)$$

$$\rightarrow \ln (T_c - T_f) + \ln C = -U.S \left(\frac{1}{\dot{m}_c.C_{pc}} + \frac{1}{\dot{m}_f.C_{pf}} \right) \dots\dots\dots (III.20)$$

$$\rightarrow \ln \frac{(T_c - T_f)}{C} = -U.S \left(\frac{1}{\dot{m}_c.C_{pc}} + \frac{1}{\dot{m}_f.C_{pf}} \right) \dots\dots\dots (III.21)$$

$$\rightarrow \frac{(T_c - T_f)}{C} = \exp \left[-U.S \left(\frac{1}{\dot{m}_c.C_{pc}} + \frac{1}{\dot{m}_f.C_{pf}} \right) \right] \dots\dots\dots (III.22)$$

Conditions aux limites :

Pour $X = 0; [S = 0, T_c - T_f = T_{ce} - T_{fe}] \rightarrow C = T_{ce} - T_{fe}$

$$X = L; [S = \pi DL, T_c - T_f = T_{cs} - T_{fs}]$$

$$\rightarrow \frac{(T_{cs} - T_{fs})}{(T_{ce} - T_{fe})} = \exp \left[-U.S \left(\frac{1}{\dot{m}_c.C_{pc}} + \frac{1}{\dot{m}_f.C_{pf}} \right) \right] \dots\dots\dots (III.23)$$

Chapitre III

$$\left[\begin{array}{l} \varphi = \dot{m}_c.Cp_c(T_{ce}-T_{cs}) \\ \varphi = \dot{m}_f.Cp_f(T_{fs}-T_{fe}) \end{array} \right. \xrightarrow{\dots\dots\dots} \left[\begin{array}{l} \frac{1}{(\dot{m}_c.Cp_c)} = \frac{(T_{ce}-T_{cs})}{\varphi} \\ \frac{1}{(\dot{m}_f.Cp_f)} = \frac{(T_{fs}-T_{fe})}{\varphi} \end{array} \right.$$

On aura, par suite :

$$\rightarrow \ln \frac{(T_{cs}-T_{fs})}{(T_{ce}-T_{fe})} = \frac{US}{\varphi} [(T_{ce}-T_{fe})-(T_{cs}-T_{fs})] \dots\dots\dots (III.24)$$

$$\rightarrow \varphi = US [((T_{ce}-T_{fe})-(T_{cs}-T_{fs}))/ \ln \frac{(T_{ce}-T_{fe})}{(T_{cs}-T_{fs})}] \dots\dots\dots (III.25)$$

$$\rightarrow \varphi = US (\Delta T_a-\Delta T_b)/ \ln (\Delta T_a/\Delta T_b) \dots\dots\dots (III.26)$$

Avec:

$$\diamond \Delta T_a = T_{ce}-T_{fe}$$

$$\diamond \Delta T_b = T_{cs}-T_{fs}$$

$$\Delta TML = (\Delta T_a-\Delta T_b)/ \ln (\Delta T_a/\Delta T_b) \dots\dots\dots (III.27)$$

Et pour l'écoulement contre –courant :

$$\rightarrow \varphi = US (\Delta T_a-\Delta T_b)/ \ln (\Delta T_a/\Delta T_b). \dots\dots\dots (III.28)$$

Avec :

$$\diamond \Delta T_a = T_{ce}-T_{fs}$$

$$\diamond \Delta T_b = T_{cs}-T_{fe}$$

Lorsque l'écoulement n'est ni co-courant, ni contre-courant, on met encore le flux de chaleur sous la forme :

$$\varphi = \dot{m}_c.Cp_c(T_{ce}-T_{cs}) \dots\dots\dots (III.29)$$

$$\Delta TML_{\text{courant-croisé}} = F. \Delta TML \dots\dots\dots (III.30)$$

Chapitre III

Avec :

- ✚ ΔT_{ML} : différence de température moyenne logarithmique pour un écoulement contre-courant
- ✚ F : facteur correctif dépendant du type d'écoulement [26].

Pour faciliter la détermination du facteur de correction F . On met les résultats des calculs sous forme d'abaques (Figure III.4) ou l'on a :

$$F=f(R,P,\text{configuration d'échangeur})$$

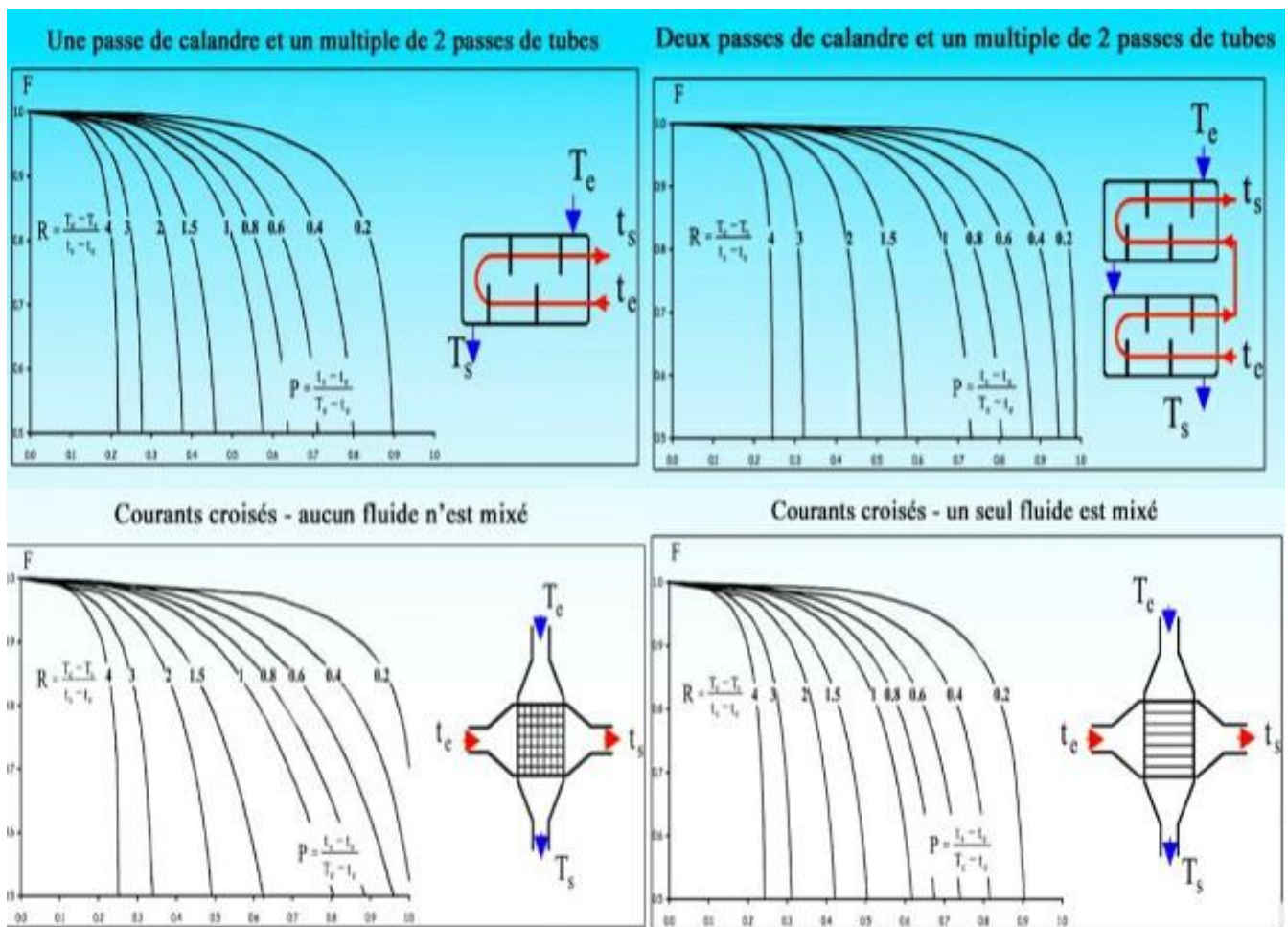


Figure III.4 :Abaques pour trouver le facteur de correction F d'un échangeur

III-2-2-c : Méthode de NUT

En mode évaluation, on désire déterminer les températures de sortie d'un échangeur connaissant les températures d'entrée et la surface d'échange. la résolution de ce problème est itérative car on ne dispose pas d'une température moyenne caractéristiques indispensable pour déterminer les propriétés physiques et le coefficient d'échange global [22].

Chapitre III

On détermine l'efficacité à l'aide du NUT, puis connaissant cette efficacité on en déduit ΔT_a ou ΔT_b avec la première équation et, connaissant les températures d'entrée T_{ce} et T_{fe} on en déduit T_{cs} et T_{fs} .

Le nombre d'unités de transfert (NUT) est défini par :

$$NUT = \frac{U.S}{C_{min}} \dots \dots \dots (III.32)$$

La surface d'échange S est connue et l'on a :

$$C_{min} = \min(C_c, C_f) \dots \dots \dots (III.33)$$

Une fois l'efficacité calculée, la puissance (le flux de chaleur ou la quantité de chaleur) échangée ϕ peut être calculée par [22].

$$\phi = \varepsilon.C_{min}.(T_{ce}-T_{fe}) = \varepsilon.C_{min}.\Delta T_{max} \dots \dots \dots (III.34)$$

Le déroulement du calcul peut être schématiquement le suivant (Figure III.5):

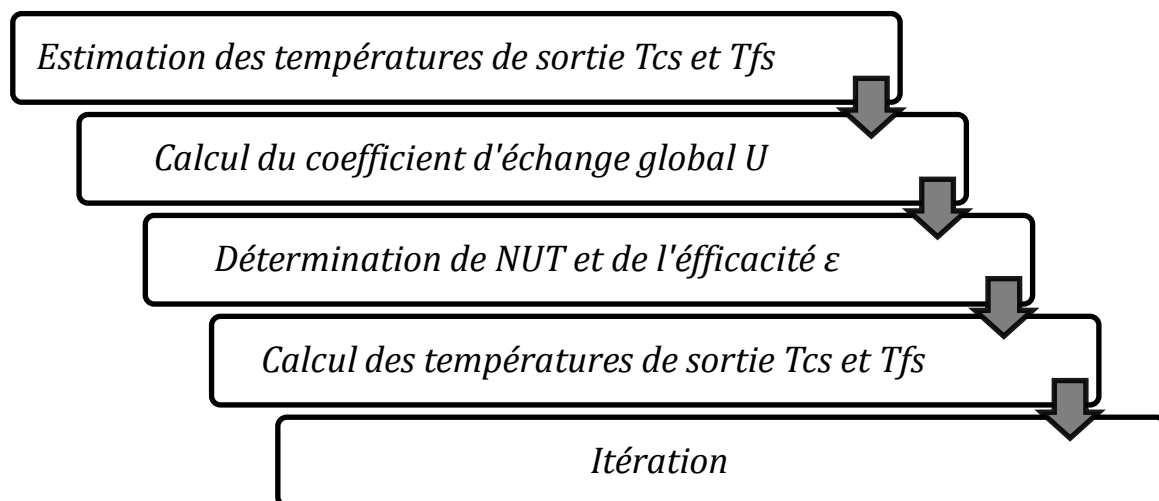


Figure III.5 : Logique du calcul par la méthode NUT

III-2-3: Calcul de la perte de charges

Un fluide en mouvement subit des pertes d'énergie dues aux frottements sur les parois (pertes de charge régulières) ou à des accidents de parcours (pertes de charge singulières) comme des chicanes, par exemple. Cette perte d'énergie, exprimée en différence de pression (ΔP) doit être compensée afin de permettre au fluide de se déplacer.

Chapitre III

Une fois l'échangeur dimensionné, il faut donc calculer les pertes de charges de l'échangeur grâce à différentes corrélations déterminées en fonction des caractéristiques des surfaces d'échange [23].

Chapitre IV

La Problématique et la Méthodologie de

Résolution

Chapitre IV: La Problématique et la Méthodologie de Résolution.

Lors de ce chapitre, on va décrire notre problématique et présenter la méthodologie de résolution suivie.

IV-1 : Problématique

On distingue à partir du 2^{ème} chapitre que le choix technologique est l'étape principale dans le dimensionnement des échangeurs de chaleur.

Vu la diversité des échangeurs (types, catégories, matériaux, géométries....etc.), l'étape du choix technologique et du dimensionnement est la plus difficile pour le thermicien industriel. Cela se traduit par une recherche du choix optimale difficile à atteindre et qui prendrait un temps assez long (temps de réponse à l'industriel trop long) et coûterait trop cher.

C'est pour cela qu'on a cherché à simplifier cette étape de choix technologique multiple en réalisant un logiciel d'aide à la décision DSS (Décision Support System).

Celui-ci orienterait ou guiderait l'ingénieur thermicien (l'utilisateur) afin qu'il trouve, à la fin de manipulation, un échangeur thermique optimale en utilisant une méthode d'optimisation heuristique.

IV-2 : Méthodologie

La méthode de résolution de notre problématique est composée de trois parties :

1. Les critères de choix : on a classifié les échangeurs selon plusieurs critères et qui sont choisis à cause de leurs importances dans le choix technologique. on a caractérisé chaque échangeur par ses paramètres (pression, température, compacité...etc.)
2. La méthode d'optimisation utilisée est la méthode d'optimisation heuristique avec recherche du tabou.
3. L'algorithme du DSS : dans cette partie, un algorithme est développé pour la conception du logiciel d'aide à la décision qui comporte tous les détails et les étapes à suivre.

Chapitre IV

Partie 1

IV-2-1 : Les critères de choix

L'ordonnancement des critères de choix est le suivant :

IV-2-1-a : Le domaine d'application

C'est le domaine où on va utiliser cet échangeur. Pour chaque domaine, il y'a des échangeurs qui répondent aux conditions de fonctionnement .par exemple, pour le domaine de chimie, il faut utiliser des échangeurs qui résistent très bien à l'encrassement et la corrosion (échangeur à plaques soudées) et aussi des échangeurs qui assurent un bon milieu réactif (échangeur multifonctionnels). Les domaines qui sont présentés dans notre DSS sont les suivants :

- ℵ Agroalimentaire.
- ℵ Pharmacie.
- ℵ Chimie.
- ℵ Energie.
- ℵ Ventilation.
- ℵ Chauffage/climatisation.
- ℵ Réfrigération.
- ℵ Cryogénie.
- ℵ Transport.
- ℵ Pétrochimie.

IV-2-1-b : La fonction :

La fonction principale de l'échangeur de chaleur est de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre à des niveaux de températures distincts. Les fonctionnalités des échangeurs thermiques se varient selon le besoin de l'utilisateur parmi eux (les plus utilisés dans l'industrie) :

- ℵ Evaporateur/condenseur.
- ℵ Réchauffeur/refroidisseur.
- ℵ Réacteur chimique.
- ℵ Récupérateur.
- ℵ Liquide/liquide.
- ℵ Liquide/gaz.
- ℵ Gaz/gaz.
- ℵ Contrôle de température.

Chapitre IV

- ℵ Gaz/solide.
- ℵ Liquide/solide

IV-2-1-c : La catégorie

On a déjà vu dans les chapitres précédents que le domaine des échangeurs possède plusieurs catégories. Pour notre DSS, on a travaillé avec les quatre catégories suivantes :

Les échangeurs à plaques : où les parois d'échange sont des plaques.

- ℵ Echangeur à plaques et joints.
- ℵ Echangeur à plaques soudées.
- ℵ Echangeur à plaques brasées.
- ℵ Echangeur à plaques spiralées.
- ℵ Echangeur à plaques à ailettes.
- ℵ Echangeur à plaques à microcanaux.
- ℵ Echangeur platulaire.
- ℵ Echangeur à plaques et calandre.

Les échangeurs tubulaires : où la surface d'échange est sous forme tubulaire.

- ℵ Echangeur coaxial.
- ℵ Echangeur serpentin.
- ℵ Echangeur tubes et calandre.
- ℵ Echangeur à tubes ailetés.
- ℵ Echangeur à tubes spiralés.

Les échangeurs non métalliques : qui sont construits à partir des matériaux non métalliques, ils sont utilisés pour les fluides corrosifs, encrassants et aussi pour les grandes températures.

- ℵ Echangeur en graphite.
- ℵ Echangeur en céramique.
- ℵ Echangeur en polymère.
- ℵ Echangeur en verre.

Autres types: ils n'ont pas la forme tubulaire et ne composent pas essentiellement des plaques. Ce sont des échangeurs destinés à des fonctions et domaines spéciaux comme l'échangeur à surface raclée qui est utilisé juste pour le domaine d'agroalimentaire.

- ℵ Echangeur à surface raclée.
- ℵ Echangeur double enveloppe.

Chapitre IV

- ⌘ Echangeur multifonctionnel.
- ⌘ Echangeur à lit fluidisé.
- ⌘ Echangeur à caloducs.
- ⌘ Echangeur rotatif.
- ⌘ Radiateur.
- ⌘ Aéroréfrigérant.

IV-2-1-d : La température et la pression

Les deux sont principales quand nous sommes en train de faire le choix technologique .Les échangeurs se varient selon ces résistances à la pression et ces températures maximales ou ils peuvent fonctionner correctement et sans avoir des problèmes lors du fonctionnement.

C'est pour cette raison que ces deux paramètres ont le même degré d'importance dans notre DSS.

IV-2-1-e : Le comportement à l'encrassement

On a déjà vu dans le 1^{er} chapitre que parmi les problèmes de fonctionnement des échangeurs de chaleur, l'encrassement présente l'immense problème.

Comme nous sommes en train de choisir un échangeur de chaleur, il faut prendre en considération les problèmes que l'on peut avoir après une période de travail. A cause de ça qu'on a mis le comportement à l'encrassement comme un critère essentiel du choix .Ce critère est composé d'intervalles dépendent de la résistance due à l'encrassement des deux fluides.

IV-2-1-f : Le nettoyage

Comme toutes les appareils, Les échangeurs de chaleur ont un rythme de nettoyage relié au type d'échangeur et aussi au type de fluide (il y'a des échangeurs qui sont très difficile au nettoyage et il y'a d'autres qui sont caractérisés par un nettoyage automatique) L'intérêt de l'utilisateur est essentiellement au rythme de nettoyage (mensuel, trimestriel, semestriel...etc.). Pour cela, on a demandé à l'utilisateur de choisir le rythme de nettoyage voulu afin de lui proposer le meilleur.

Chapitre IV

IV-2-1-g : Les caractéristiques des échangeurs de chaleur

Les échangeurs de chaleur incluent dans notre DSS sont présentés dans cette partie en citant :

- ℵ La description de l'échangeur.
- ℵ Des figures explicatives.
- ℵ La pression maximale.
- ℵ La température maximale.
- ℵ La compacité maximale.
- ℵ La surface maximale.
- ℵ Les domaines d'applications.
- ℵ Les fournisseurs.

Chapitre IV

Echangeur à plaques et joints :

Description : Un Échangeur à plaques et joints consiste en un paquet de plaques de métal minces particulièrement conçus pour transférer la chaleur d'un liquide à un autre. Ces plaques de métal minces sont séparées et étanchées par un jeu des joints en caoutchouc qui fournissent la distribution désirable des liquides sur le paquet de plaques. Le paquet de plaques est installé dans un encadrement, qui fournit les raccords pour les liquides et la compression appropriée des plaques se fait au moyen d'un jeu de tirants [4].

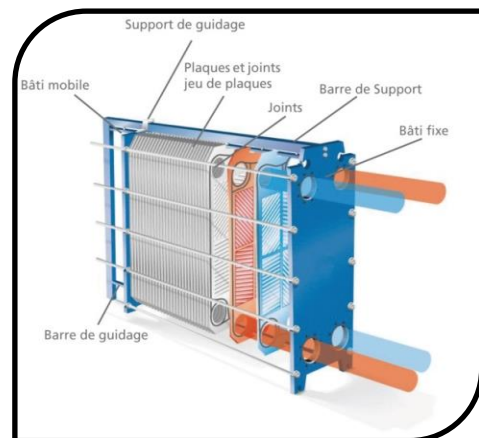


Figure IV.1 : Les composants d'un échangeur à plaques et joints



Figure IV.2: Les plaques jointées

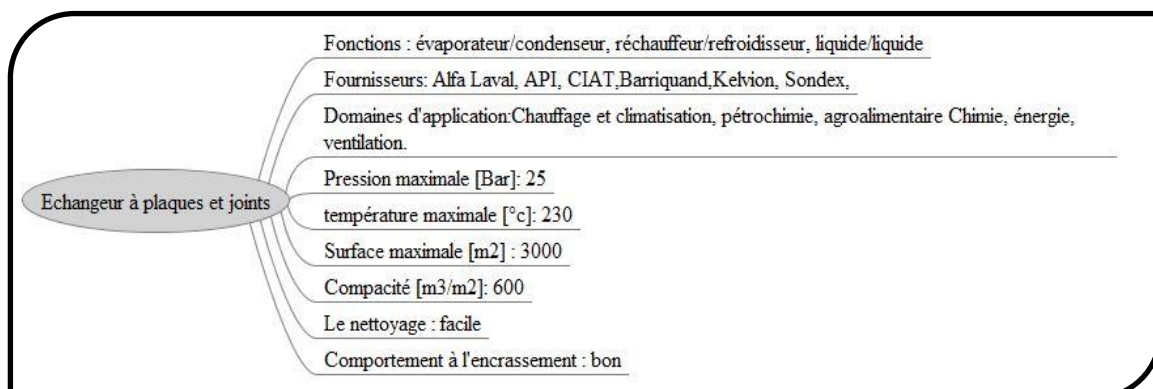


Figure IV.3 : Les caractéristiques de l'échangeur à plaques et joints

Chapitre IV

Echangeur à plaques soudées

Description : Ce concept d'échangeur relativement récent (1990), ils ont un aspect extérieur similaire à celui des échangeurs à plaques et joints. Ils sont constitués d'un paquet de plaques enserrés entre deux flasques serrés par un jeu de tirants .les plaques ont quatre ouvertures pour la distribution des deux fluides et une zone d'échange corruguée .les joints sont remplacés par des soudures.

Comme les circuits ne sont nettoyables que par des solutions chimiques, ils sont donc réservés à des fluides peu encrassant .ce type d'échangeur a été développé spécialement pour les fluides agressifs et pour les conditions de service cyclique entraînant des chocs thermiques. [4]

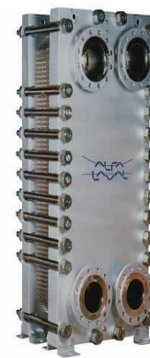
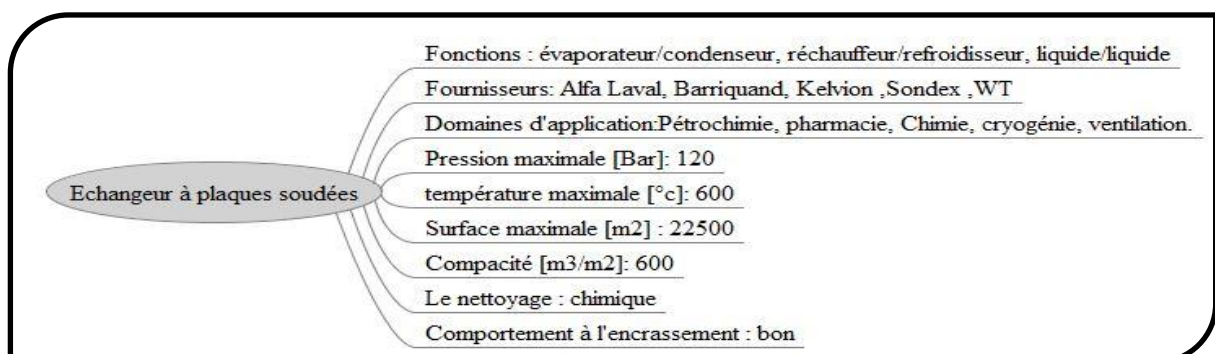


Figure IV.4 : Echangeur à plaques soudées (ALFA LAVAL)



FigureIV.5 : les caractéristiques de l'échangeur à plaques soudées

Chapitre IV

Echangeur à plaques brasées :

Description :

C'est une variante de l'échangeur plaques et joints conventionnel, car sa surface d'échange est constituée d'une série de plaques métalliques à cannelures inclinées, mais il ne possède ni joints d'étanchéité, ni tirants de serrage. L'ensemble ainsi constitué est monobloc. La profondeur des corrugations est comprise entre 2 et 3mm, et comme les échangeurs brasés ne sont pas démontables, ils doivent être utilisés sur des fluides propres.

La brasure est le plus souvent un alliage de cuivre, mais certains constructeurs ont développé des brasures avec des alliages de nickel pour étendre le domaine d'applications.

Ils sont très souvent employés sur les fluides frigorigènes comme évaporateurs et condenseurs [4].



Figure IV.6 : Les plaques brasées

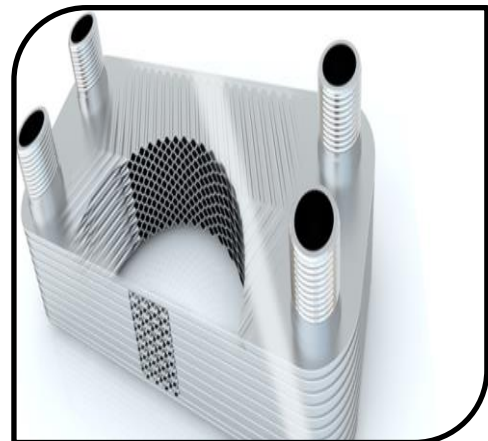


Figure IV.7 : Echangeurs à plaques brasées

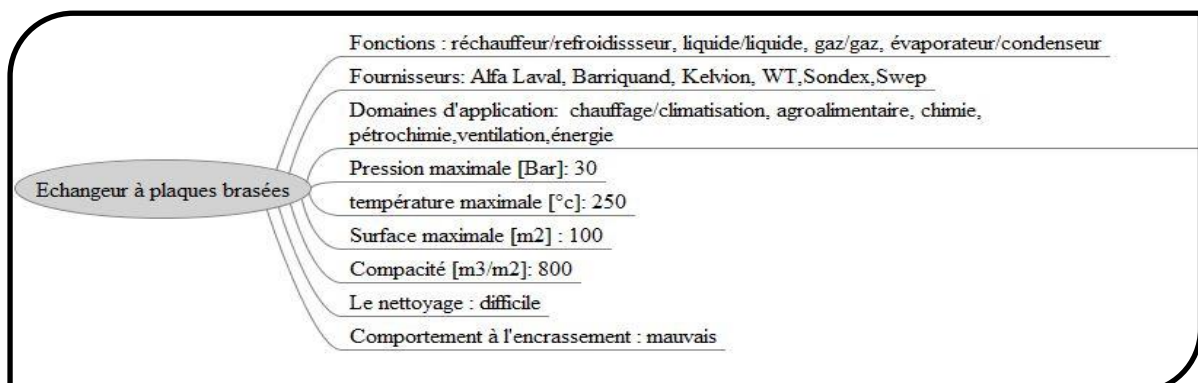


Figure IV.8: Les caractéristiques de l'échangeur à plaques brasées

Chapitre IV

Echangeur à plaques spiralées :

Description : l'échangeur de chaleur à spirale est constitué de deux canaux concentriques formés par deux plaques de métal enroulées de manière hélicoïdale. La distance entre les deux canaux est obtenue à l'aide de taquets soudés sur les plaques et tient compte des débits, de la taille des particules pour les fluides chargés et des pertes de charge. Ces taquets ont également pour effet de favoriser un écoulement turbulent dans chaque canal et d'améliorer ainsi le coefficient d'échange [27]. La conception de ces échangeurs leur donne la particularité intéressante d'être « autonettoyants ». En effet contrairement aux échangeurs qui distribuent le fluide dans de multiples canaux, la totalité du fluide s'écoule ici dans le canal de l'échangeur spiralé, sans zone morte. Si celui-ci s'encrasse, le fluide n'a pas d'autre chemin possible. La vitesse du fluide augmente alors sous l'effet de la pression et le fluide entre en turbulence, ce qui aide à éliminer les dépôts et à garder les surfaces propres sous l'effet des frottements [4].

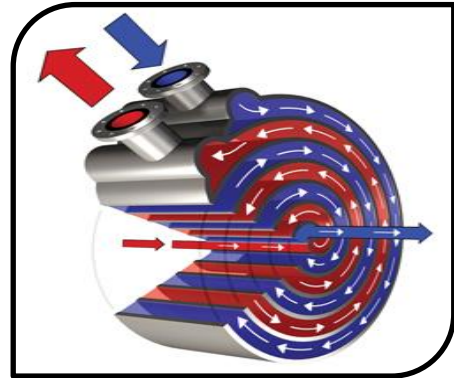


Figure IV.9: Fonctionnement des échangeurs à plaques spiralées



Figure IV.10: Echangeurs à plaques spiralées (ALFA LAVAL)

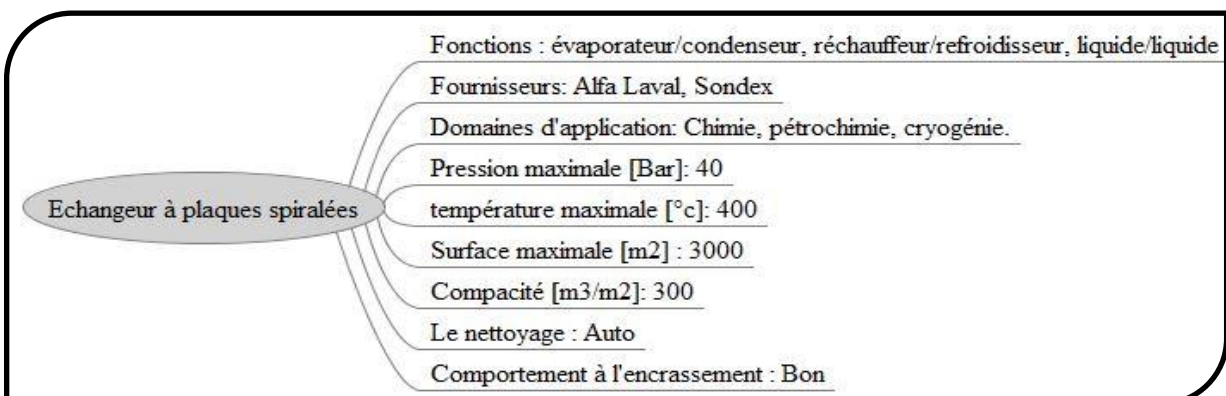


Figure IV.11: Les caractéristiques de l'échangeur à plaques spiralées

Chapitre IV

Echangeur à plaques à ailettes

Description : Les plaques à ailettes et les châssis hautes performances garantissent un excellent transfert de chaleur. Les ailettes internes augmentent la surface de contact pour le transfert de la chaleur et créent des turbulences afin de minimiser la couche limite de fluide et de réduire encore la résistance thermique. Les plaques et le châssis peuvent être brasés sous vide ou soudés [4].



Figure IV.12 : Echangeur à plaques à ailettes

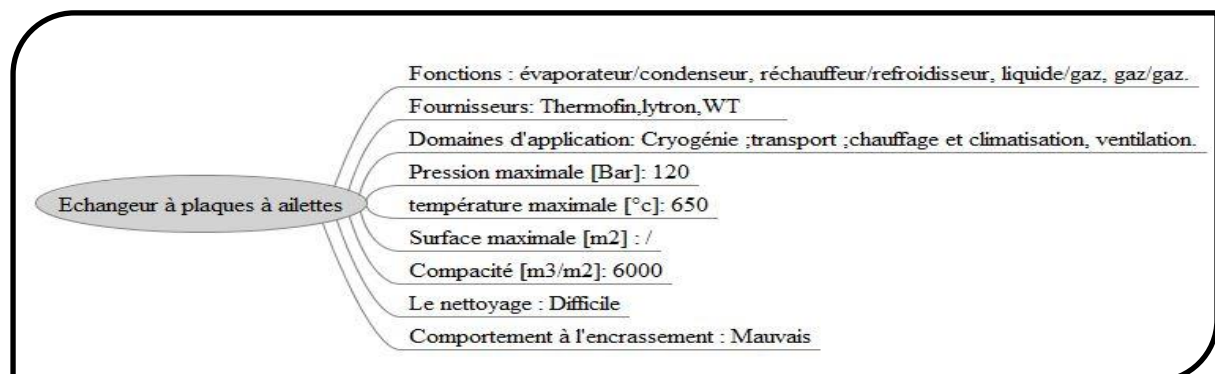


Figure IV.13 : Les caractéristiques de l'échangeur à plaques à ailettes

Chapitre IV

Echangeur à plaques et calandre

Description : Ce concept d'échangeur relativement récent (1990).le cœur d'échange est constitué de plaques corruguées circulaires soudées deux à deux sur leur périphérie dans lesquelles sont percées deux ouvertures qui sont soudées sur les ouvertures de la paire de plaques adjacentes [28] .le cœur est ensuite inséré dans une calandre circulaire dont les fonds sont soudés ou démontables .l'intérêt principal de ce concept est un cout au mètre carré très compétitif un encombrement et un poids qui séduisent les installateurs [4] .



Figure IV.14: Echangeur à plaques et calandre (ALFA LAVAL)

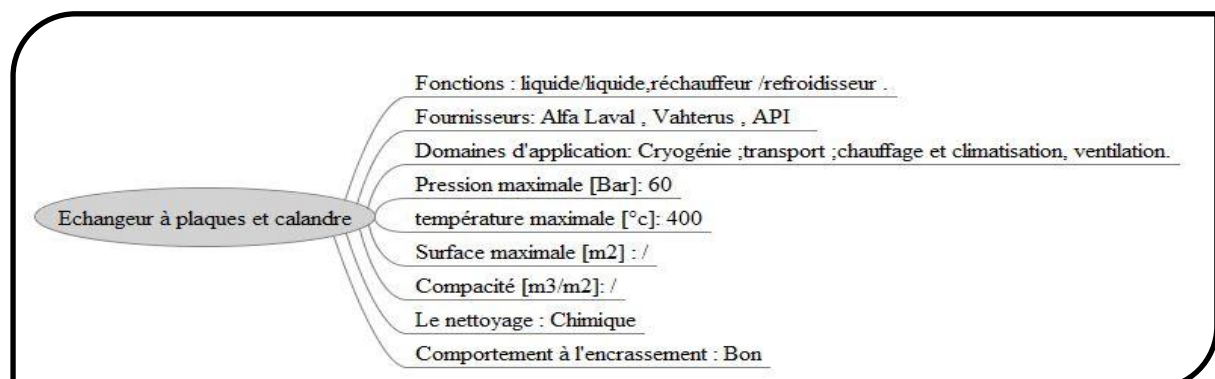


Figure IV.15: Les caractéristiques de l'échangeur à plaques et calandre

Chapitre IV

Echangeur platulaire :

Description : le nom a été donné par l'inventeur français du concept. Les échangeurs "platulaires" sont une synthèse des échangeurs tubulaires et des échangeurs à plaques conventionnels. Ils allient donc la compacité et la robustesse de ces échangeurs [4]. L'un des fluides s'écoule dans le canal formé par deux plaques, tandis que l'autre fluide s'écoule librement autour de ces canaux. Les canaux peuvent être de différentes formes et placés en position verticale ou horizontale et les circuits en mono ou multipasses. Dans le cas d'effluents encrassant et fortement chargés, le fluide circulera entre les plaques utilisant peu de points de contact [29].

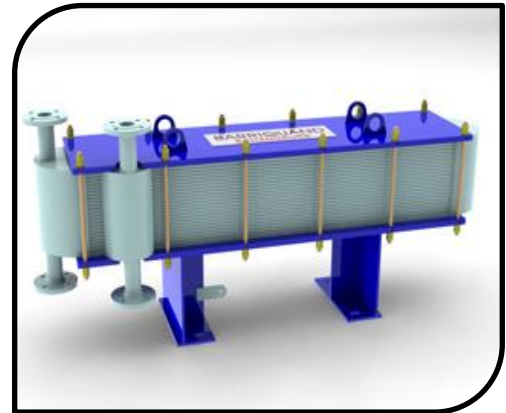


Figure IV.16 : Echangeurs platulaire (Barriquand)

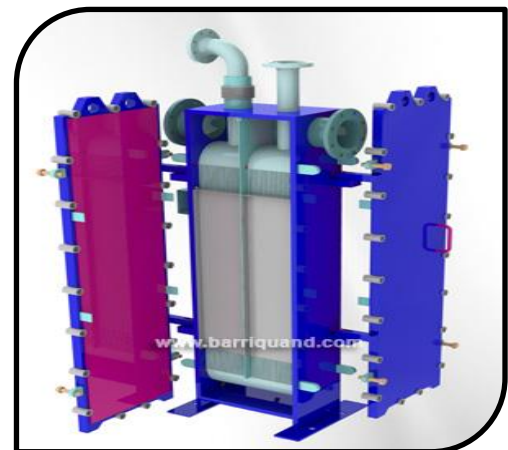


Figure IV.17: Composants d'échangeur platulaire (Barriquand)

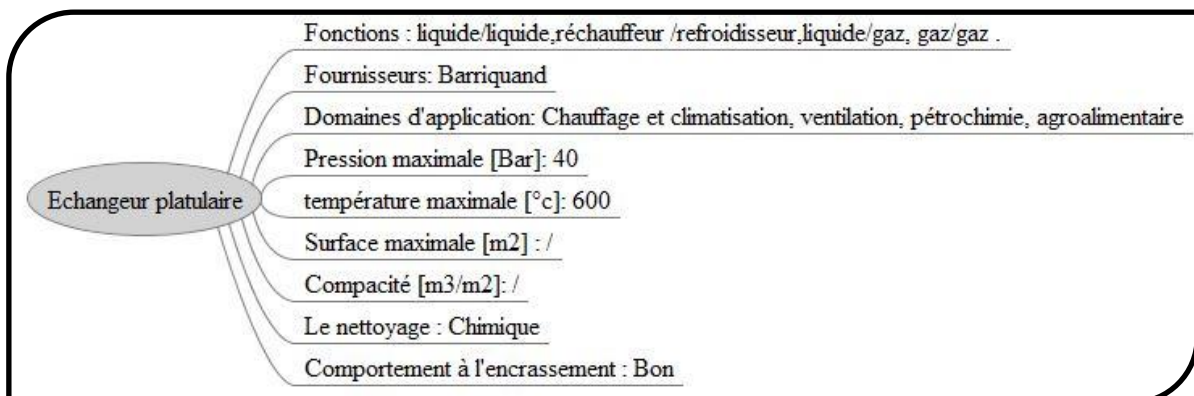


Figure IV.18 : Les caractéristiques de l'échangeur platulaire

Chapitre IV

Echangeur à plaques à microcanaux :

Description : les microcanaux peuvent être de forme plus ou moins élaborée suivant l'effet recherché et la technologie de fabrication utilisée. Les formes les plus élaborées permettent d'augmenter encore la puissance échangée au travers d'une augmentation de la surface et/ou du coefficient d'échange [30]. Cela se paie par des difficultés technologiques de réalisation accrues et une perte de pression des fluides augmentée. Les avantages de ces échangeurs sont nombreux : compacité, masse volumique faible, volume de fluide réduit (pour les produits rares et chers). Comme les inconvénients, on peut citer : peu de fournisseurs, perte de pression, technologie récente [4].



Figure IV.19 : Echangeurs à plaques à microcanaux



Figure IV.20 : Les microcanaux

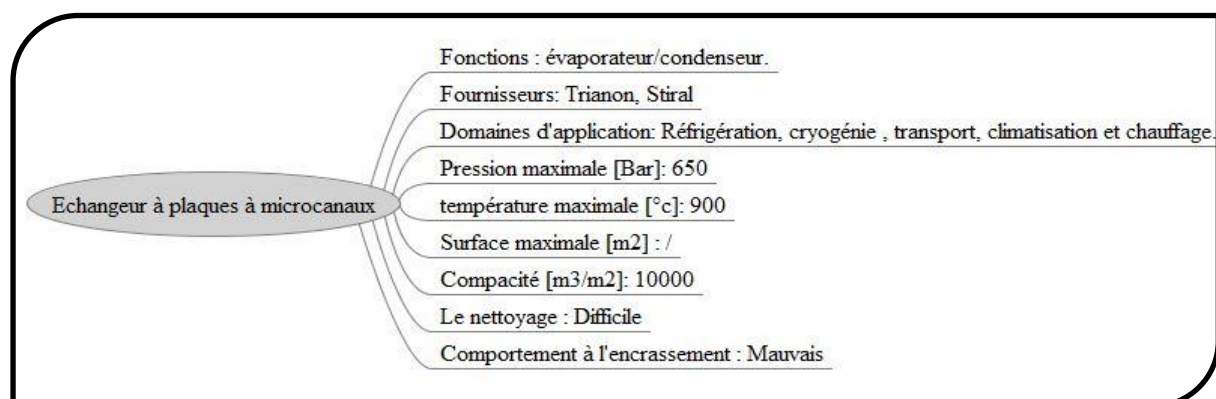


Figure IV.21: Les caractéristiques de l'échangeur à plaques à microcanaux

Chapitre IV

Echangeur coaxial :

Description : Les échangeurs de chaleur coaxiaux représentent la forme la plus simple des échangeurs de chaleur et sont utilisés en priorité pour le transfert de chaleur en cas d'écart important de pression ou entre des fluides à viscosité élevée [4]. Un avantage est l'écoulement uniforme traversant l'espace du tube. Dans cet espace, il n'existe pas de zones d'écoulement mortes. , dans lequel les deux tubes sont concentriques et l'échangeur est souvent cintré pour limiter son encombrement ; en générale, le fluide chaude ou le fluide à haute pression s'écoule dans le tube intérieur [31].

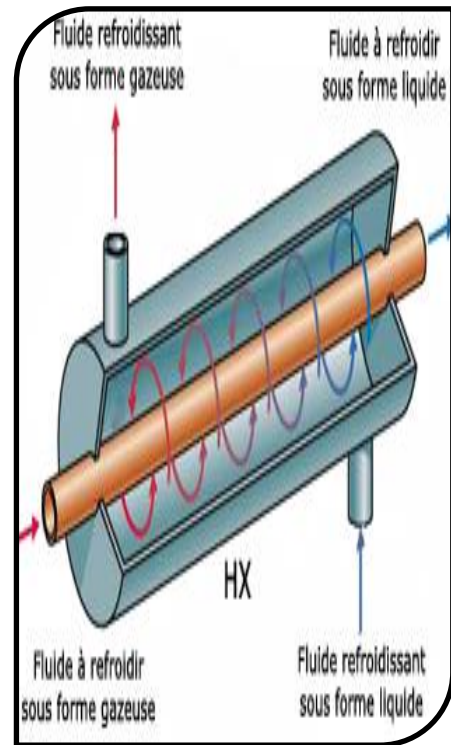


Figure IV.22 : Echangeur coaxial

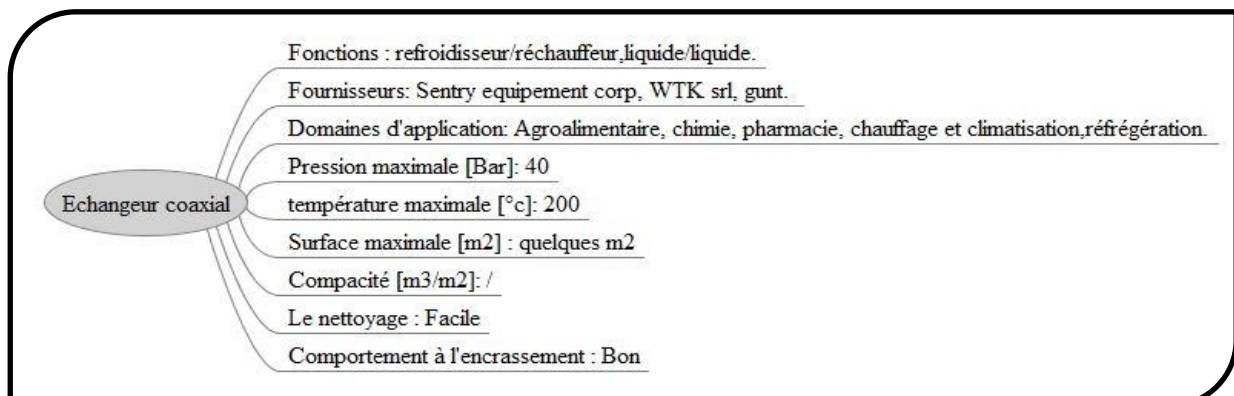


Figure IV.23: Les caractéristiques de l'échangeur coaxial

Chapitre IV

Echangeur serpentin

Description : c'est un échangeur monotube dans lequel le tube est placé à l'intérieur d'un réservoir et a généralement la forme d'un serpent.

Le principe du serpentin permet une circulation à grande vitesse du liquide caloporteur : le coefficient d'échange thermique est donc maximum par conception. Le mouvement de convection naturelle est favorisé par l'espace inter-tubes [4].



Figure IV.24 : Echangeur serpentin

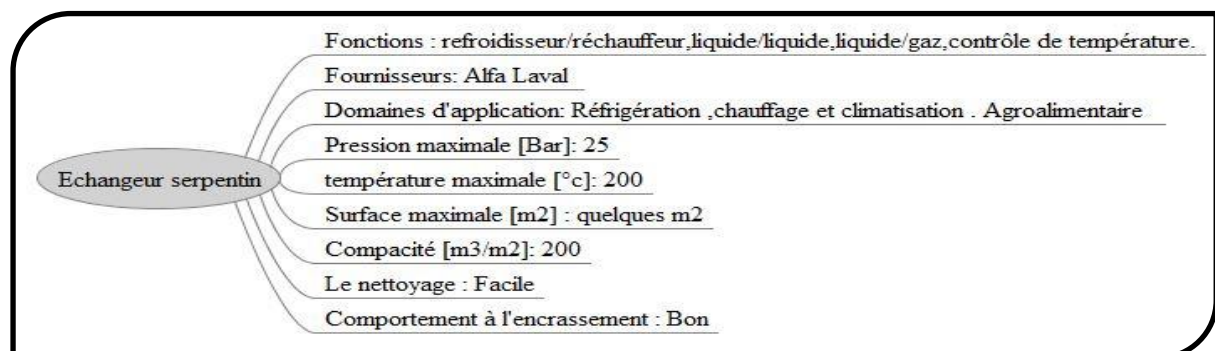


Figure IV.25 : Les caractéristiques de l'échangeur serpentin

Chapitre IV

Echangeur à tubes spiralés

Description : L'échangeur de chaleur avec tubes en spirales est composé essentiellement d'un manteau extérieur et d'un assemblage de tubes en forme de spirales profilées. Ces tubes profilés sont encastrés de manière compacte dans le manteau, d'où une plus grande surface d'échange thermique. Le profilage des tubes et leur forme spiralée génèrent d'importantes turbulences du fluide, ce qui permet de réduire les encrassements. Etant assemblés, les tubes présentent une capacité d'extension optimale.

Avantages : Hautes performances (la forme spiralée des tubes profilés, encastrés de manière compacte) procure à l'échangeur une plus grande surface d'échange de chaleur avec une capacité thermique élevée. Construction compacte et légère réduisant les frais d'installation. Large éventail de modèles et d'équipements, adaptés à un grand nombre d'applications [32].

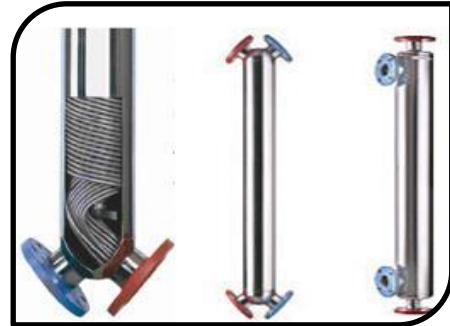


Figure IV.26 : Echangeur à tubes spiralés (WT)



Figure IV.27 : La disposition des tubes dans la calandre (WT)

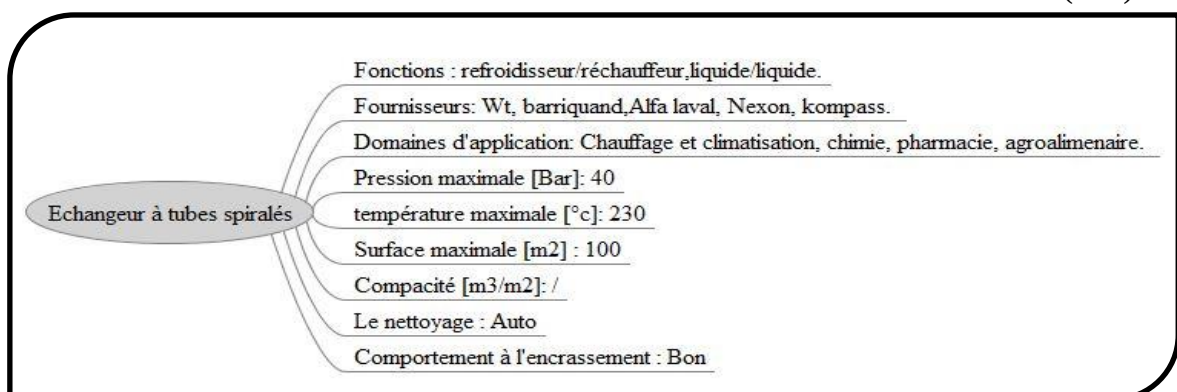


Figure IV.28 : Les caractéristiques de l'échangeur à tubes spiralés

Chapitre IV

Echangeur à tubes ailetés :

Description : Lorsque l'un des fluides transitant dans l'échangeur s'avère nettement moins bon caloporteur que l'autre, l'utilisation d'ailettes s'impose autour des tubes ou quelquefois dans les tubes afin que la résistance thermique globale ne soit pas principalement due au fluide ayant le plus petit coefficient d'échange thermique. C'est le cas des échangeurs gaz-liquide et liquide-gaz utilisés dans la récupération thermique sur les fumées ou les gaz chauds ou dans les différents systèmes thermodynamiques. Ces échangeurs sont appelés batteries à ailettes.

Les batteries à ailettes sont constituées d'un faisceau de tubes, répartis en rangs ou nappes, dans lesquels circule un fluide caloporteur ayant un bon coefficient d'échange. Le fluide extérieur étant un gaz (air généralement), un ailetage externe des tubes est nécessaire pour diminuer l'écart entre les résistances thermiques externe et interne [4].



Figure IV.29 : Echangeur à tubes ailetés (TRIANON)

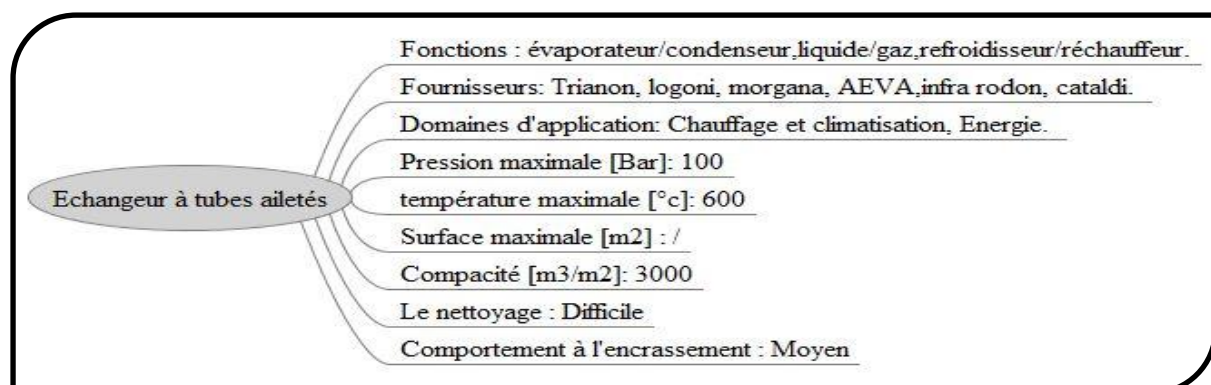
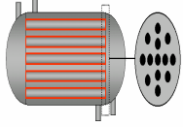
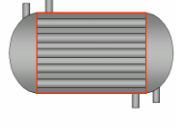
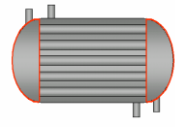


Figure IV.30 : Les caractéristiques de l'échangeur à tubes ailetés

Chapitre IV

Echangeur tubes et calandre :

Description : sont les échangeurs les plus répandus aux besoins d'industrie et ils sont construits de [4]

		
Le faisceau tubulaire est composé de deux à plusieurs centaines de tubes soudés ou dudgeonnés à leur extrémité sur une plaque [3]	La calandre est un tube cylindrique de gros diamètre dans laquelle est placé le faisceau tubulaire. [3]	Les boîtes de distribution et de retour sont fixées aux extrémités et servent de collecteur pour le fluide circulant dans les tubes [3].

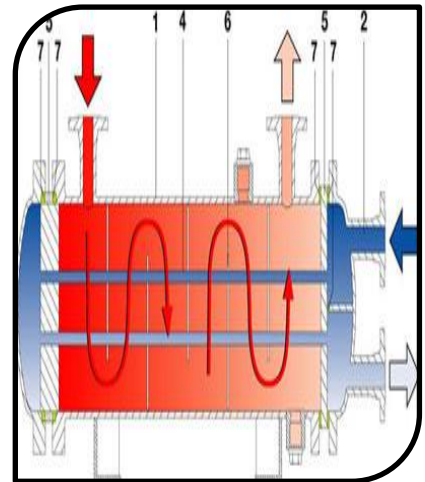


Figure IV.31 : Schéma d'un échangeur tubes et calandre

Les échangeurs tubes et calandre sont équipés de chicanes ou cloisonnements :

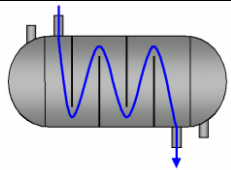
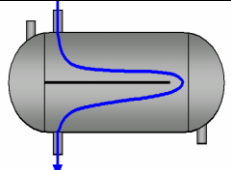
	
<u>Chicanage de la calandre :</u> On place des cloisonnements sur le trajet du fluide pour éviter qu'il ne suive un chemin préférentiel. La turbulence créée améliore également le transfert [3].	<u>Cloisonnement pour la circulation dans les tubes ou dans la calandre :</u> On obtient ainsi des échangeurs multipasses côté calandre [3].



Figure IV.32 : un condenseur tubes et calandre (ALFA LAVAL)

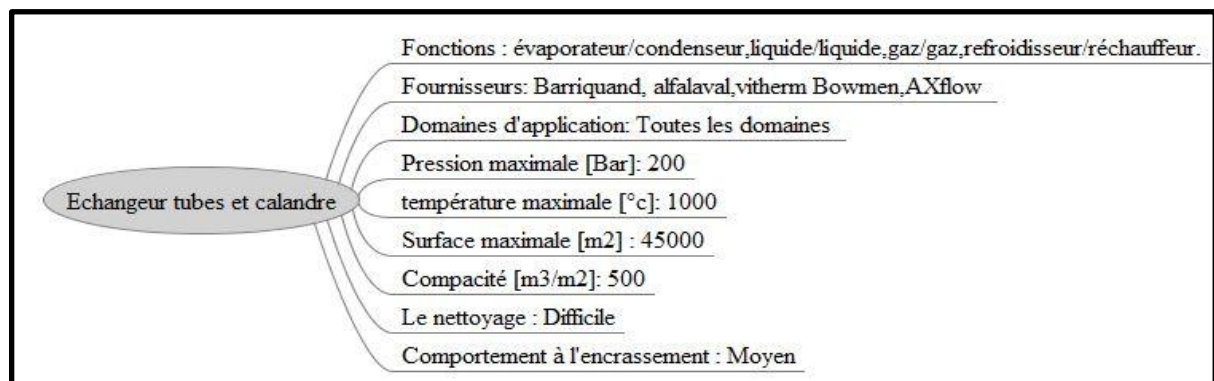


Figure IV.33 : Les caractéristiques d'un échangeur tubes et calandre

Chapitre IV

Echangeur rotatif :

Description : Le principe de l'échangeur rotatif est de faire tourner lentement une roue qui permet de transférer de la chaleur avec un rendement pouvant atteindre jusqu'à 90% [4] . Suivant sa conception, il récupère soit la chaleur sensible contenue dans l'air, soit il absorbe la chaleur latente et la chaleur sensible. La roue est constituée de couches superposées de feuille d'aluminium ou d'inox, une lisse l'autre ondulée constituant des canaux triangulaires ou les flux d'air circulent à contre-courant permettant ainsi l'échange de chaleur cet échangeur est sensible à l'encrassement.

Les échangeurs rotatifs présentent un bon rendement à cause de leur compacité élevée avec leurs grandes surfaces d'échange [34] .

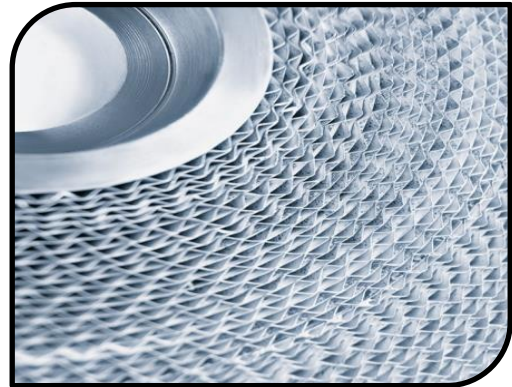


Figure IV.34 : La forme de la roue dans l'échangeur rotatif



Figure IV.35 : Un échangeur rotatif à l'échelle industriel

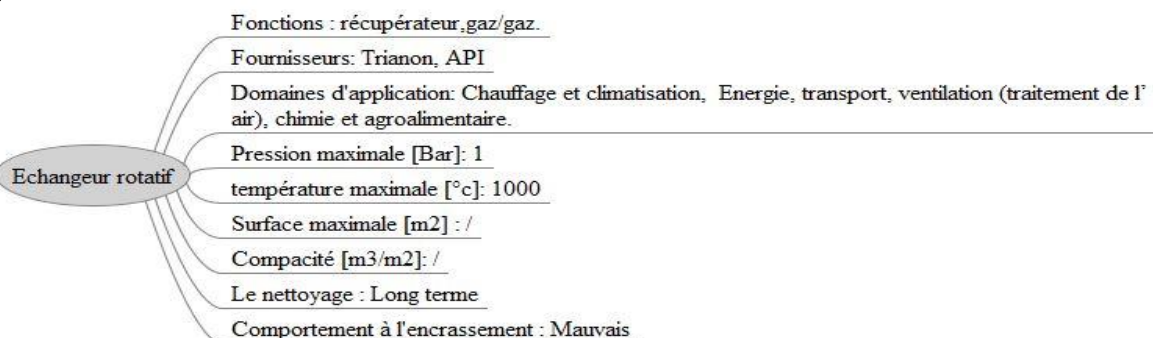


Figure IV.36 : Les caractéristiques de l'échangeur rotatif

Chapitre IV

Echangeur à caloducs

Description : Les caloducs sont des dispositifs de transfert de chaleur fonctionnant par évaporation/condensation d'un fluide à l'intérieur d'une cavité fermée, souvent un tube. On peut intégrer des caloducs pour réaliser un échangeur de chaleur à caloducs entre deux fluides.

Les caloducs sont disposés en un faisceau tubulaire vertical maintenu en place par une pièce centrale qui sépare les deux veines ou circulent à contre-courant le fluide à chauffer et le fluide à refroidir. Chaque thermosiphon travaille avec une température différente et il s'établit pour les deux fluides un échange de chaleur globalement à contre-courant, ce qui permet une efficacité élevée. Ils sont utilisés pour la climatisation d'armoires électriques étanches et pour des applications de niche pour leurs spécificités : Sureté pour les fluides dangereux, fiabilité, efficacité importante en gaz/gaz [4]

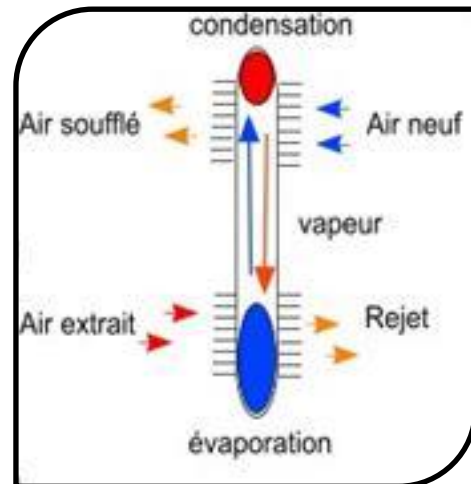


Figure IV.37: Schéma explicatif le fonctionnement d'un caloduc

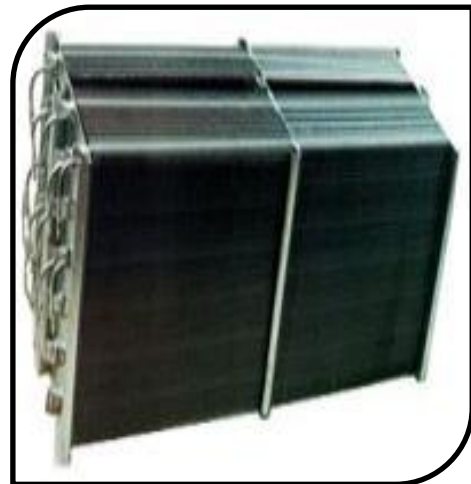


Figure IV.38 : Un échangeur à caloducs

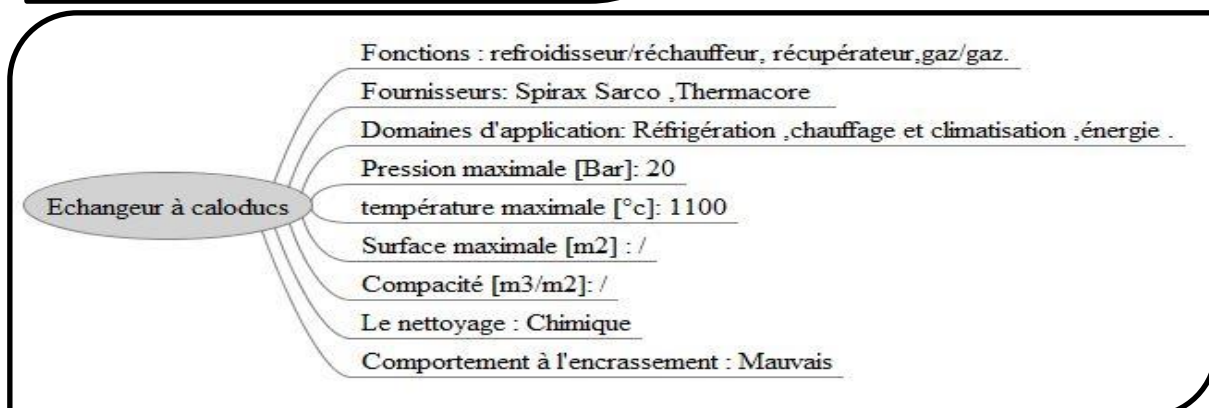


Figure IV.39: Les caractéristiques de l'échangeur à caloducs

Chapitre IV

Echangeur multifonctionnel :

Description : le transfert thermique permet de s'affranchir de certaines contraintes environnementales et de sécurité inhérentes au procédé ,tout en restant viable économiquement .En combinant l'échange thermique et la réaction au sein d'une seule et même unité , la chaleur dégagée ou absorbée est immédiatement évacuée ou apportée .C'est la particularité des échangeurs /réacteurs continus [35] .Cette technologie innovante permet d'envisager une conduite plus sûre du procédé en contrôlant la température du milieu réactionnel ,une sélectivité accrue grâce au maintien de la réaction à température constante et une réduction des produits secondaires .leur technologie est avant tout basée sur celle des échangeurs de chaleur dans lesquels sont mises en jeu des synthèses chimiques exo ou endothermiques [4]



Figure IV.40 : Echangeur multifonctionnel

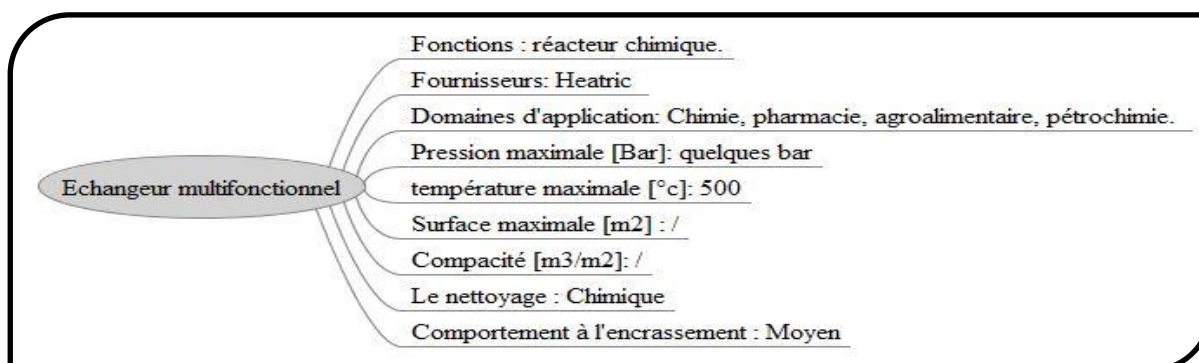


Figure IV.41: Les caractéristiques de l'échangeur multifonctionnel

Chapitre IV

Echangeur à lit fluidisé

Description : un lit fluidisé est constitué d'un lit de particules solides en suspension avec une surface libre grâce à un courant de gaz ascendant. Ce lit en brassage permanent a un comportement analogue à un liquide, ce qui permet un échange de chaleur entre gaz et lit par contact direct, ou entre gaz et un échangeur immergé via le lit (généralement des tubes ou des plaques) de température très uniforme et efficace. L'agitation du lit permet de plus d'éviter l'encrassement de l'échangeur immergé. Les inconvénients par rapport aux échangeurs classiques résident en une puissance de ventilation plus grande due aux pertes de pression plus élevées et un encombrement plus grand. Les applications se rencontrent en génie chimique pour réaliser ou contrôler des réactions chimiques dans le lit, en séchage ou en récupération de chaleur sur des gaz. On peut aussi réaliser une chaudière à lit fluidisé en faisant brûler les particules solides [4].



Figure IV.42: Echangeur à lit fluidisé (jost)

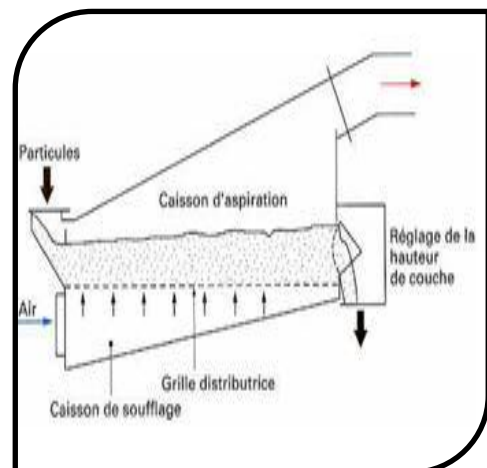


Figure IV.43 : Schéma qui explique le fonctionnement d'un échangeur à lit fluidisé

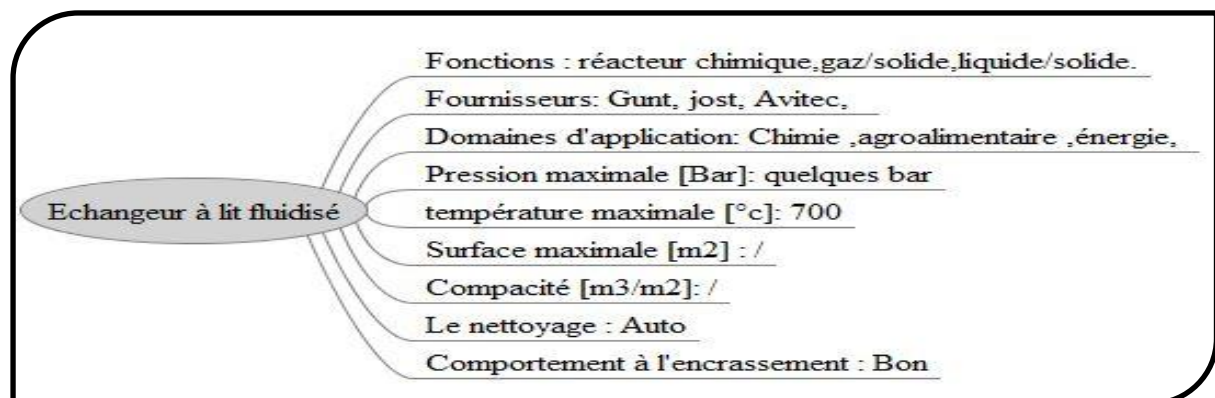


Figure IV.44 : Les caractéristiques de l'échangeur à lit fluidisé

Chapitre IV

Echangeur double enveloppe :

Description : Dans de nombreux procédés du génie industriels, plusieurs procédures de base sont combinées. Par exemple, il y a une réaction chimique dans un réservoir dans laquelle la chaleur doit être fournie ou évacuée. C'est pourquoi ces réservoirs sont équipés d'une double enveloppe [36] . En fonction du procédé, le fluide dans la double enveloppe est utilisé pour le chauffage ou le refroidissement du contenu du réservoir. Pour mieux mélanger le contenu du réservoir et pour une distribution homogène de la température, on utilise des agitateurs. En cas d'une distribution de température homogène, la température du produit est précisément ajustable. L'échangeur de chaleur à double enveloppe est un modèle pour un réservoir de ce genre [4] .



Figure IV.45: Echangeur double enveloppe(Gunt)

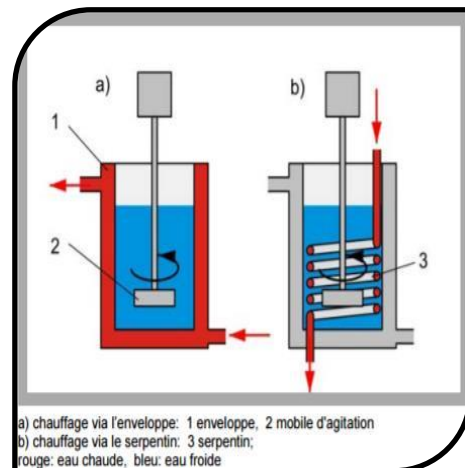


Figure IV.46 : Schéma qui explique le fonctionnement d'un échangeur double enveloppe

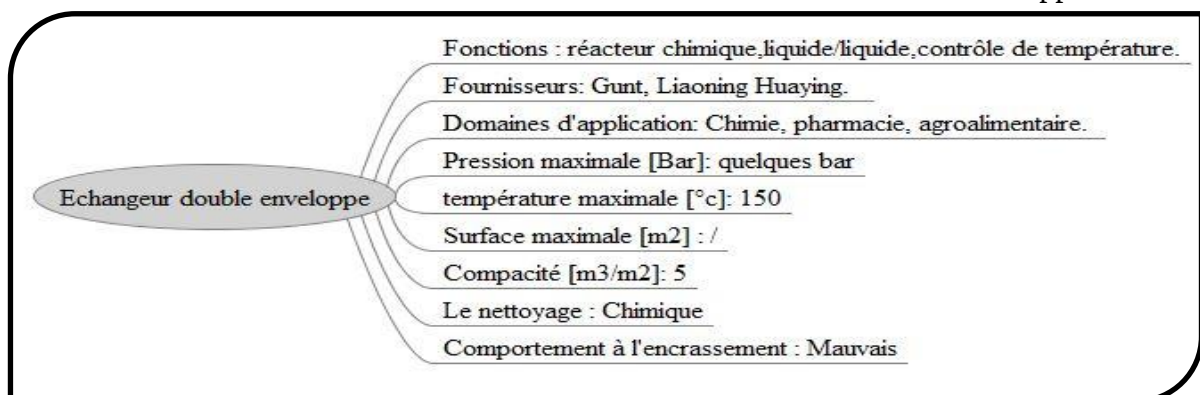


Figure IV.47 : Les caractéristiques de l'échangeur double enveloppe

Chapitre IV

Echangeur à surface raclée :

Description : est un équipement adapté au chauffage et au refroidissement de produits alimentaires visqueux, collants et contenant des morceaux, dans le respect des normes d'hygiène. Il peut être utilisé avec de nombreux fluides auxiliaires [4].

Le produit traverse le cylindre depuis le bas vers le haut. Des racleurs agitent et raclent le produit en continu en évitant toute encrassement des parois du cylindre. Le fluide de chauffage et de refroidissement circule dans une double enveloppe externe.

Les échangeurs à surface raclée peuvent être montés en série pour un chauffage et un refroidissement en ligne.

Avantages

- ✓ Encombrement minimal
- ✓ Facile à ouvrir pour inspection et changement des couteaux racleurs
- ✓ Idéal pour les produits alimentaires collants, grumeleux et visqueux .



Figure IV.48 : Echangeur à surface raclée (Contherm)



Figure IV.49 : Schéma qui explique le fonctionnement d'un échangeur à surface raclée

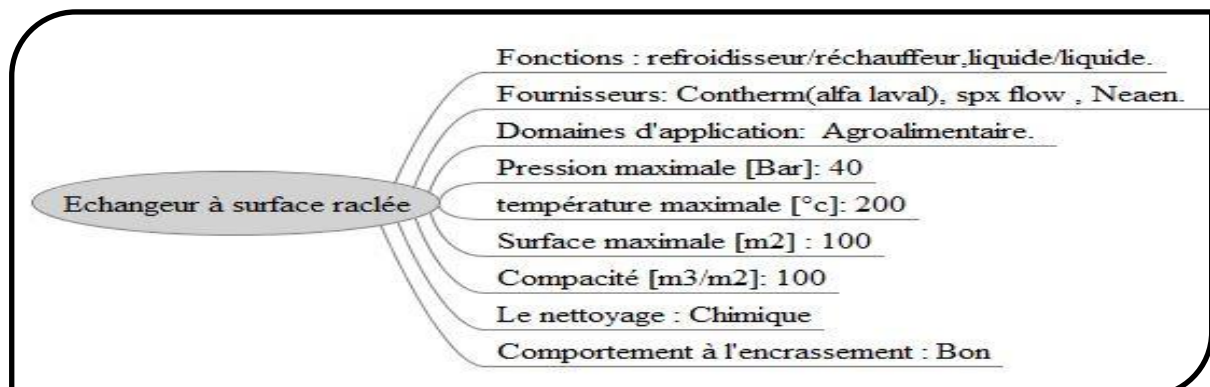


Figure IV.50 : Les caractéristiques de l'échangeur à surface raclée

Chapitre IV

Radiateur :

Description: Les applications industrielles nécessitant des compresseurs et de moteurs thermiques utilisent toutes des radiateurs industriels pour assurer leur bon fonctionnement que ce soit pour assurer un refroidissement ou une régulation de température. Les radiateurs émettent leur chaleur par rayonnement et par convection. La répartition entre ces deux modes d'émission dépend du type de radiateur.

Les radiateurs à panneaux

Ces radiateurs sont composés de tôles d'acier profilées assemblées 2 à 2 pour former des panneaux creux parcourus par l'eau chaude. Les panneaux peuvent être équipés de déflecteurs ou ailettes. Ceux-ci augmentent l'émission de chaleur par convection.

Les radiateurs à éléments

Ces radiateurs se retrouvent dans les anciennes installations. Ils se composent d'éléments identiques juxtaposés, en nombre suffisant pour obtenir la puissance nécessaire.



Figure IV.51: La disposition des ailettes à l'intérieur du radiateur.



Figure IV.52 : Radiateur en aluminium

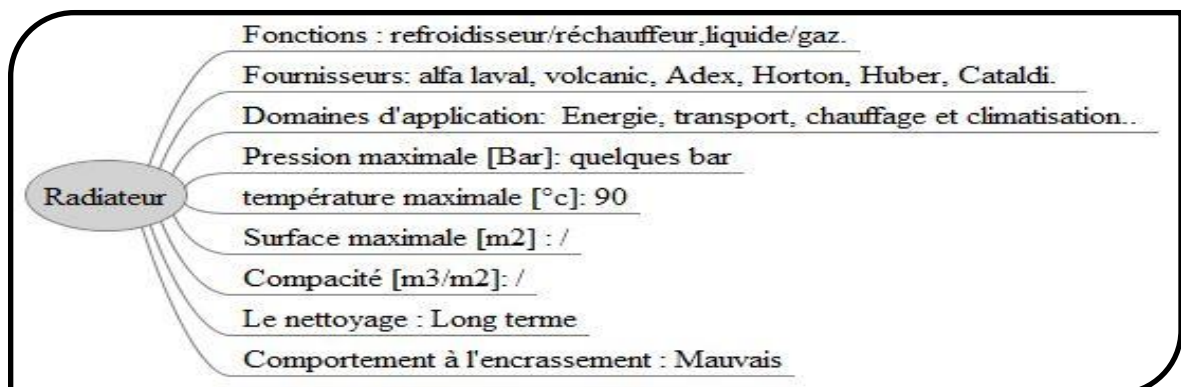


Figure IV.53 : Les caractéristiques de radiateur

Chapitre IV

Aéro-réfrigérant

Description : les aéroréfrigérants peuvent fonctionner à sec en utilisant l'air ambiant comme refroidisseur. Le fluide à refroidir circule dans les tubes d'un échangeur à ailettes et est refroidi par l'air mis en mouvement par des ventilateurs et traversant cet échangeur [1]. Le dimensionnement de ces aéroréfrigérants répond à une problématique bien définie : pouvoir fournir la puissance nécessaire au refroidissement de fluide, et ce quelle que soit la température ambiante. Evidemment, plus la température extérieure est élevée, plus le rendement de l'équipement baisse et plus il doit fournir une charge importante. Il est donc dimensionné pour fonctionner à charge maximale pour une température ambiante maximale donc ces systèmes s'appliquent principalement pour des puissances relativement faibles, mais peuvent également être utilisés en applications industrielles de puissances inférieures à 2 MW [39]



Figure IV.54 : Un aéro-réfrigérant

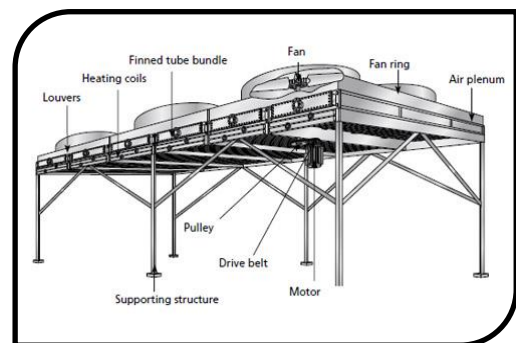


Figure IV.55 : Les composants d'un aéro-réfrigérant

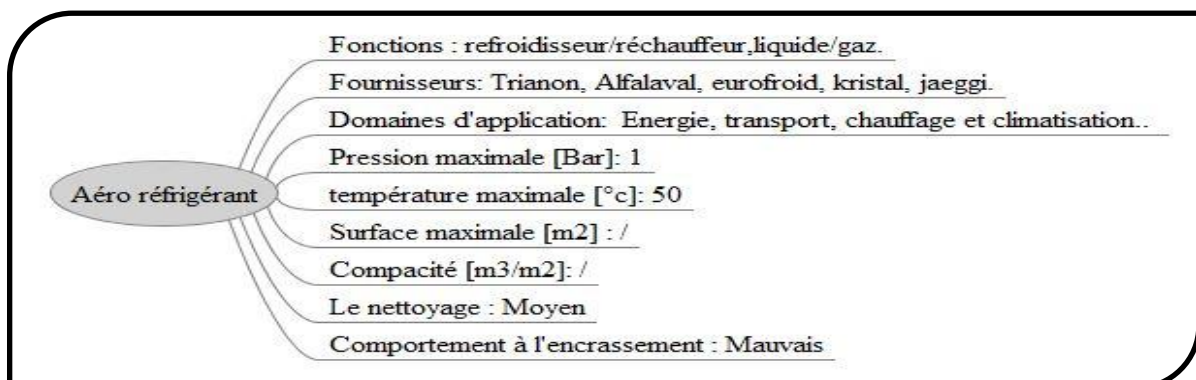


Figure IV.56 : Les caractéristiques d'un aéro-réfrigérant

Chapitre IV

Echangeur en céramique :

Description : pour des gaz à haute température, les échangeurs de chaleur métalliques ne peuvent plus être utilisés.

Les matériaux céramiques comportent des défauts structuraux qui sont créés ; soit lors de leur fabrication, soit lors de leur usinage, soit lors de leur exposition à des environnements agressifs. Associés à l'absence de comportement plastique, ces défauts caractérisés par une distribution statistique sont à l'origine de la ruine des pièces, appelée communément rupture fragile. Les principaux avantages des échangeurs en céramique se résument ainsi :

- ✓ Une bonne tenue à haute température
- ✓ Une bonne conductivité thermique
- ✓ Une bonne résistance à la corrosion
- ✓ Une masse volumique faible

Les inconvénients par rapport aux échangeurs métalliques sont une certaine fragilité et une dispersion de leurs propriétés mécaniques [4].



Figure IV.57 : Un faisceau en céramique

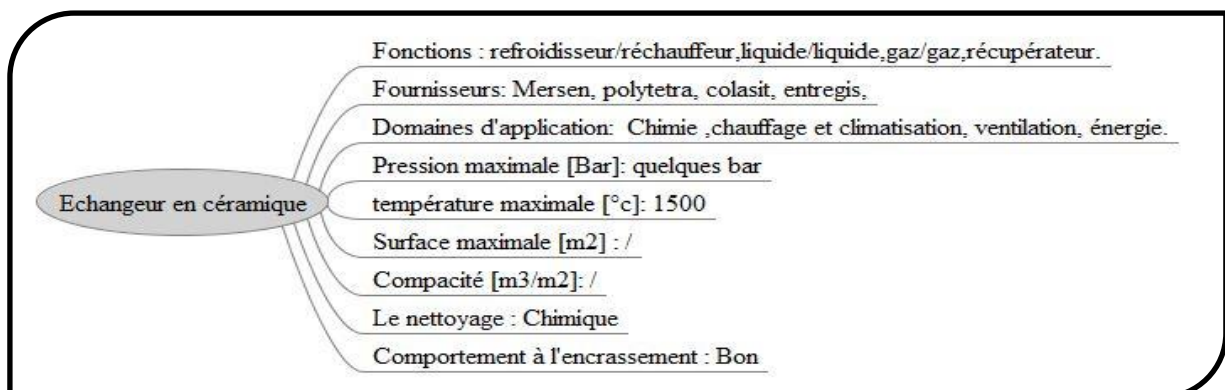


Figure IV.58 : Les caractéristiques de l'échangeur en céramique

Chapitre IV

Echangeur en graphite :

Description: la diversité des propriétés du graphite en fait un matériau de choix de nombreuses industries qu'elles soient chimiques, électrochimiques électrométallurgiques, électriques ou nucléaires.

La grande inertie du graphite alliée à une excellente conductivité thermique en fait un matériau de choix pour la construction d'échangeurs de chaleur pour les milieux ultra-corrosifs. Toutefois, le graphite, matériau poreux doit être imprégné pour être utilisé en génie chimique .il existe différentes versions de ces échangeurs : à faisceau tubulaire, à bloc et à plaque [4] .

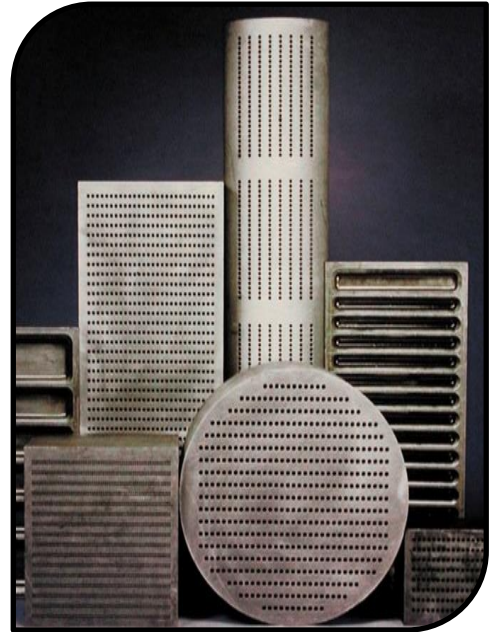


Figure IV.59 : Les échangeurs en graphite

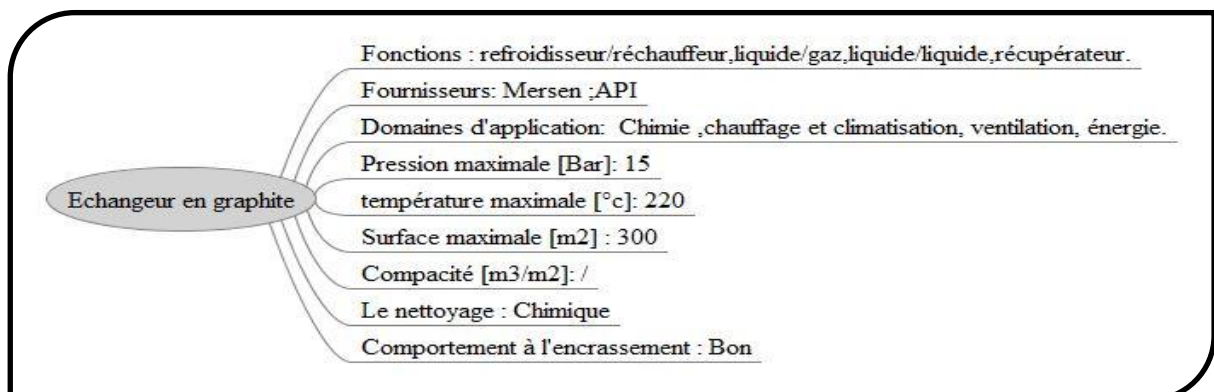


Figure IV.60 : Les caractéristiques de l'échangeur en graphite

Chapitre IV

Echangeur en verre :

Description : les divers avantages de l'utilisation du verre comme surface d'échange sont les suivantes :

- ⌘ Une bonne tenue à la corrosion notamment sulfurique, ce qui permet son utilisation industrielle dans des problèmes de récupération sur des gaz à des températures inférieures à la température de condensation des acides.
- ⌘ Une facilité de nettoyage due à l'état de surface du verre qui limite l'accrochage des dépôts et qui permet de retrouver l'état initial après un simple nettoyage.
- ⌘ Un prix peu élevé [4]

Les inconvénients sont essentiellement la fragilité du matériau et la conductivité thermique du verre qui est très inférieure à celle des métaux. De ce fait, ce matériau trouve surtout ses applications sur des gaz ; ou la résistance thermique se trouve essentiellement coté fluide gazeux [40] .



Figure IV.61 : Les échangeurs en verre

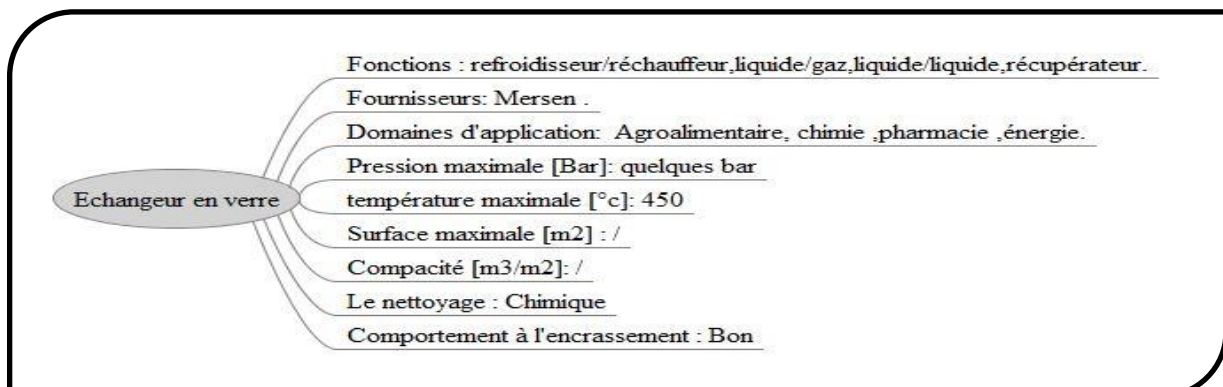


Figure IV.62 : Les caractéristiques de l'échangeur en verre

Chapitre IV

Echangeur en polymère

Description : les premiers échangeurs de chaleur en matière plastique ont été fabriqués dans les années 1960 par DuPont^[41]. leurs avantages sont :

- ✓ Bon marché
- ✓ Bonne tenue à la corrosion
- ✓ Facile à transformer
- ✓ Qualité alimentaire

Et parmi ces inconvénients on cite :

- ✗ faible conductivité thermique
- ✗ contrainte admissible limitée
- ✗ température limité
- ✗ dilatation importante. [40]



Figure IV.63 : Echangeur tubes et calandre en polymère



Figure IV.64 : Echangeur rotatif en polymère

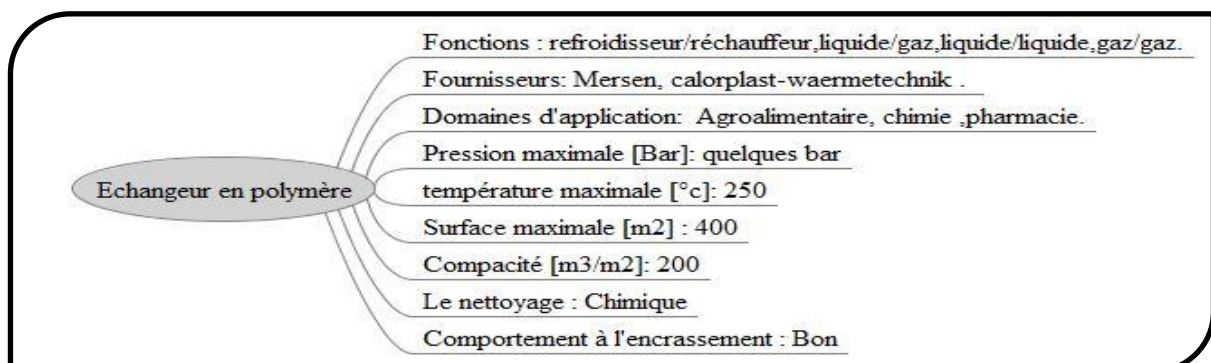


Figure IV.65 : Les caractéristiques de l'échangeur en polymère

Partie 2

IV-2-2 : Méthodes d'optimisation heuristique

En pratique, on trouve beaucoup de problèmes mal formulés, ou ayant de nombreuses contraintes, ou encore de complexité inconnue. Même si le problème est facile, l'ajout de nouvelles contraintes peut le rendre difficile. Dans ces conditions, il vaut mieux dès le départ une approche heuristique, beaucoup plus facile à modifier.

IV-2-2-a : Définition

Les méthodes approchées ont pour but de trouver une solution admissible en un temps raisonnable, mais sans garantie l'optimalité de cette solution. L'avantage principal de ces méthodes est qu'elles peuvent s'appliquer à n'importe quelle classe de problèmes, faciles ou très difficiles. De plus, elles ont démontré leurs robustesses et efficacités face à plusieurs problèmes d'optimisation combinatoires [43]

IV-2-2-b : Méthode de Recherche Tabou

L'algorithme de Recherche taboue (TABU SEARCH) est une technique de recherche dont les principes ont été proposés pour la première fois par Fred Glover dans les années 80 (Glover, 1980). Elle se distingue des méthodes de recherche locale simples par le recours à un historique des solutions visitées, de façon à rendre la recherche un peu moins aléatoire. Il devient donc possible de s'extraire d'un minimum local, mais, pour éviter d'y retomber périodiquement, certaines solutions sont considérées taboues.

Cette méthode fait appel à un ensemble de règles et de mécanismes généraux pour guider la recherche de manière intelligente au travers de l'espace des solutions.

Le but est évidemment de favoriser une large exploration de l'espace des solutions et d'éviter de rester dans un optimum local ou d'y retourner trop rapidement.

Principe :

C'est une approche facile à comprendre, le but est de conserver dans une liste taboue L , d'une certaine longueur l , les solutions récemment visitées. Chaque fois que nous choisissons une nouvelle solution, elle est insérée dans la liste tabou. Si la liste taboue est trop grande, on enlève la solution la plus âgée et elle ne sera plus taboue.

Le fait de créer une liste taboue c'est pour éviter d'être piégé et tourné ainsi en rond, et c'est pour ça qu'on crée la liste L qui mémorise les dernières solutions visitées et qui interdit tout déplacement vers une solution de cette liste. Cette liste L est appelée *liste Tabou*, c'est la mémoire de la recherche et le savoir d'exploration de l'espace de solutions.

Chapitre IV

Mémoire :

La taille de la liste taboue, dite aussi mémoire, est à déterminer empiriquement, elle varie avec les problèmes, mais c'est une donnée primordiale. En effet une liste trop petite peut conduire à un cycle, alors qu'une liste trop grande peut interdire des transformations intéressantes.

Voisinage :

Tabou examine un échantillonnage de solutions de $N(s)$ et retient la meilleure s' même si $f(s') > f(s)$. La recherche Tabou ne s'arrête donc pas au premier optimum trouvé [44].

```
1.  $l \leftarrow$  longueur maximale de la liste taboue,  
2.  $n \leftarrow$  number of tweaks desired to sample the gradient  
3.  $s \leftarrow$  solution initial;  
4.  $Best \leftarrow s$   
5.  $L \leftarrow \{\}$  la liste taboue de longueur  $l$  de politique first in first out;  
6. Insérer  $s$  dans  $L$  ;  
7. Tantque ( $Best$  est la meilleure) ou ( $Nombre\ Iter. = \max$ ) Faire  
8. Si longueur( $L$ )  $> l$  Alors  
9. Défiler un élément de la liste  $L$   
10.  $r \leftarrow r'$  où  $r' \in N(s)$   
11. Pour ( $i \leftarrow 1, \dots, n - 1$ ) Faire  
12.  $w \leftarrow w'$  où  $w' \in N(s)$   
13. Si  $w \notin L$  et ( $f(w) < f(r)$  ou  $r \in L$ ) Alors  
14.  $r \leftarrow w$   
15. Si  $r \notin L$  et  $f(r) < f(s)$  Alors  
16.  $s \leftarrow r$   
17. Enfiler  $r$  dans  $L$   
18. Si  $f(s) < f(Best)$  Alors  
19.  $Best \leftarrow s$   
20. Fin Tantque
```

Figure IV.66 : Algorithme de Tabou

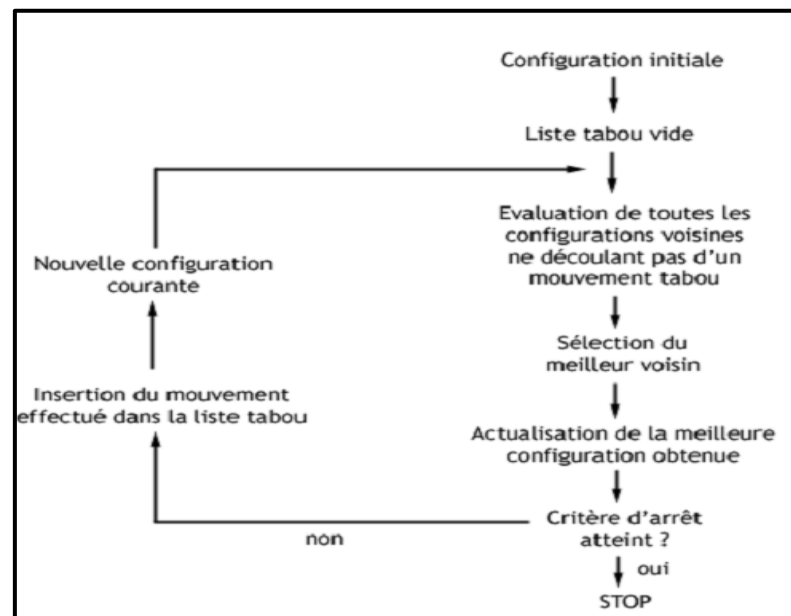


Figure IV.67 : Organigramme de la logique Tabou

Partie 3

Dans la vie quotidienne, nos décisions sont souvent prises sur la base d'intuitions et d'expériences passées. Elles sont issues d'heuristiques observables au travers de biais systématiques. Mais en réalité ce type de stratégies ne peut s'appliquer qu'à des problèmes familiers. Lorsque nous sommes confrontés à des situations nouvelles, la tâche de prise de décision devient beaucoup plus difficile pour cela il y'a des systèmes d'aide à la décision DSS [45].

IV-2-3 : Les systèmes d'aide à la décision (DSS)

IV-2-3-a : Définition

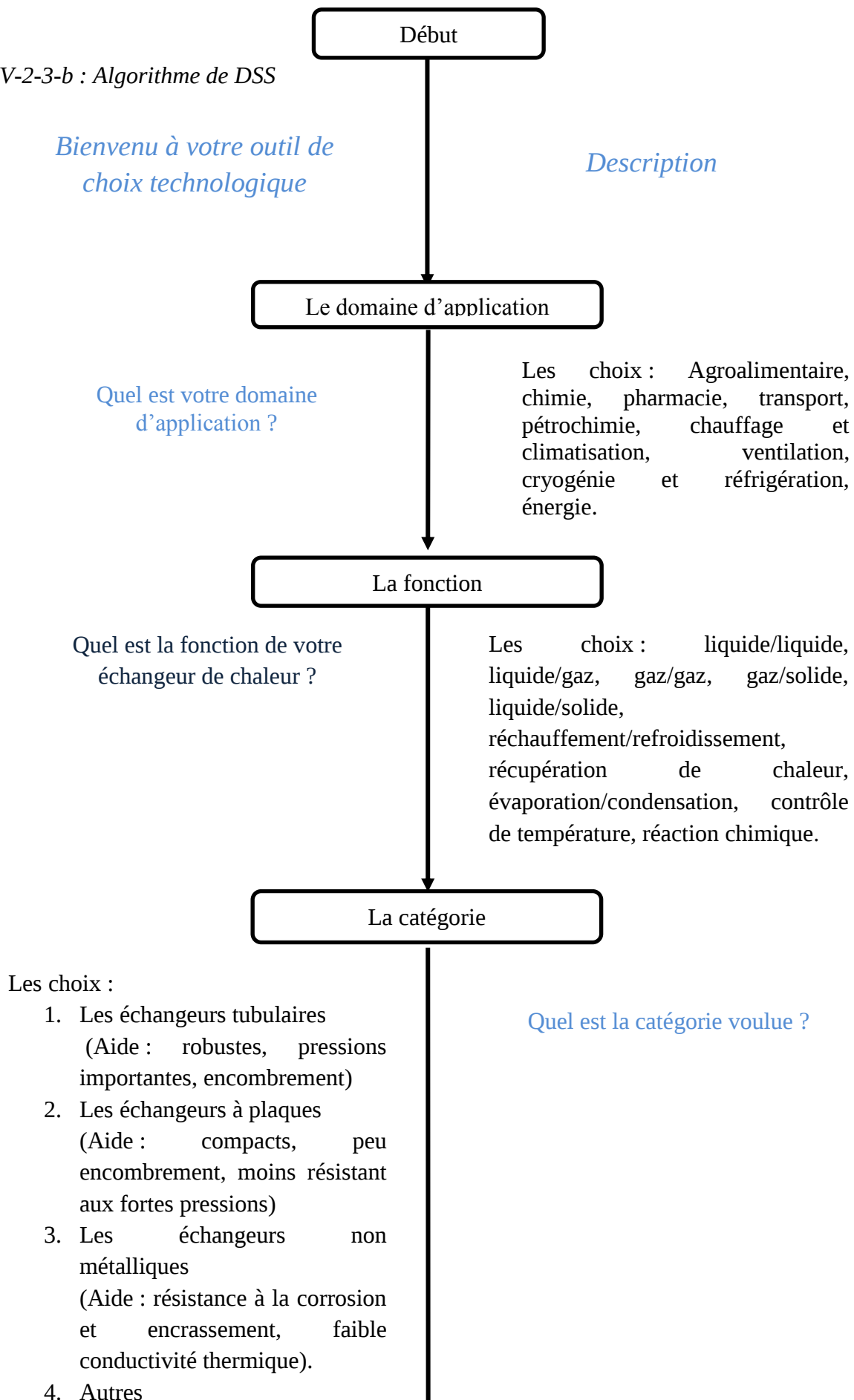
Un système d'aide à la décision bien conçu est un logiciel interactif qui aide les décideurs à dégager des informations utiles à partir de données brutes, de documents, de connaissances personnelles et de modèles métier, afin d'identifier et résoudre des incidents et prendre des décisions [45].

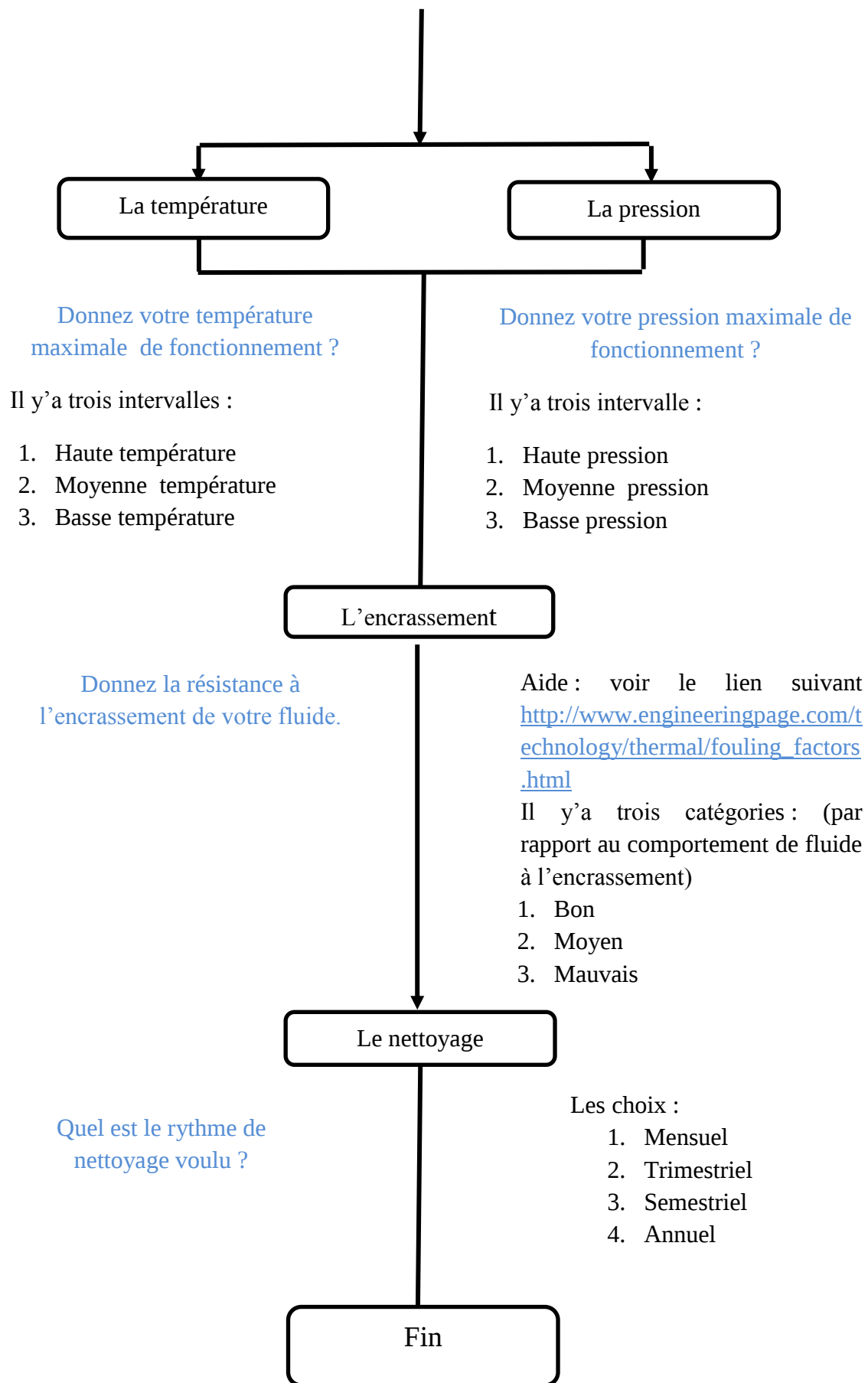
Cela se fait via une interface utilisateur, appelée communément la GUI (pour Graphical User Interface), est le lien entre l'utilisateur et la machine. Cet échange d'informations peut s'effectuer avec une interface utilisateur en mode texte (ou console) ou en mode graphique. On s'intéresse dans cette étude à cette dernière.

Une interface graphique est formée d'une ou plusieurs fenêtres qui contiennent divers composants graphiques (*widgets*) tels que :

- boutons
- listes déroulantes
- menus
- champ texte
- etc. [46]

IV-2-3-b : Algorithme de DSS





Résultats :

1. L'échangeur de chaleur qui répond au maximum des contraintes.
2. Donnez les conditions maximales de fonctionnement
3. Les fournisseurs.
4. Le logiciel de dimensionnement.

Chapitre V

Guide d'Utilisation de l'Interface Graphique

Chapitre V : Guide d'Utilisation de l'Interface Graphique

Nous exposons dans ce chapitre le guide d'utilisation de l'interface du DSS que nous avons réalisé.

V.1 : La description

Ce logiciel est un outil qui permettra à l'utilisateur (et spécifiquement aux thermiciens) de choisir un échangeur de chaleur qui répondrait à ces objectifs et selon ses contraintes (l'échangeur optimal).

Cet outil permet de déterminer:

- § L'échangeur optimal.
- § Les conditions maximales de fonctionnement.
- § Le choix optimal des fournisseurs de l'échangeur choisis.
- § Le logiciel le plus adéquat au dimensionnement de l'échangeur préalablement choisi.

Cependant, il est nécessaire d'expliquer chaque étape d'utilisation de cette interface. Cela sera décrit dans ce qui suit.

La première fenêtre de cet outil de simulation est une page d'accueil (Figure V.1) qui contient une description de logiciel.

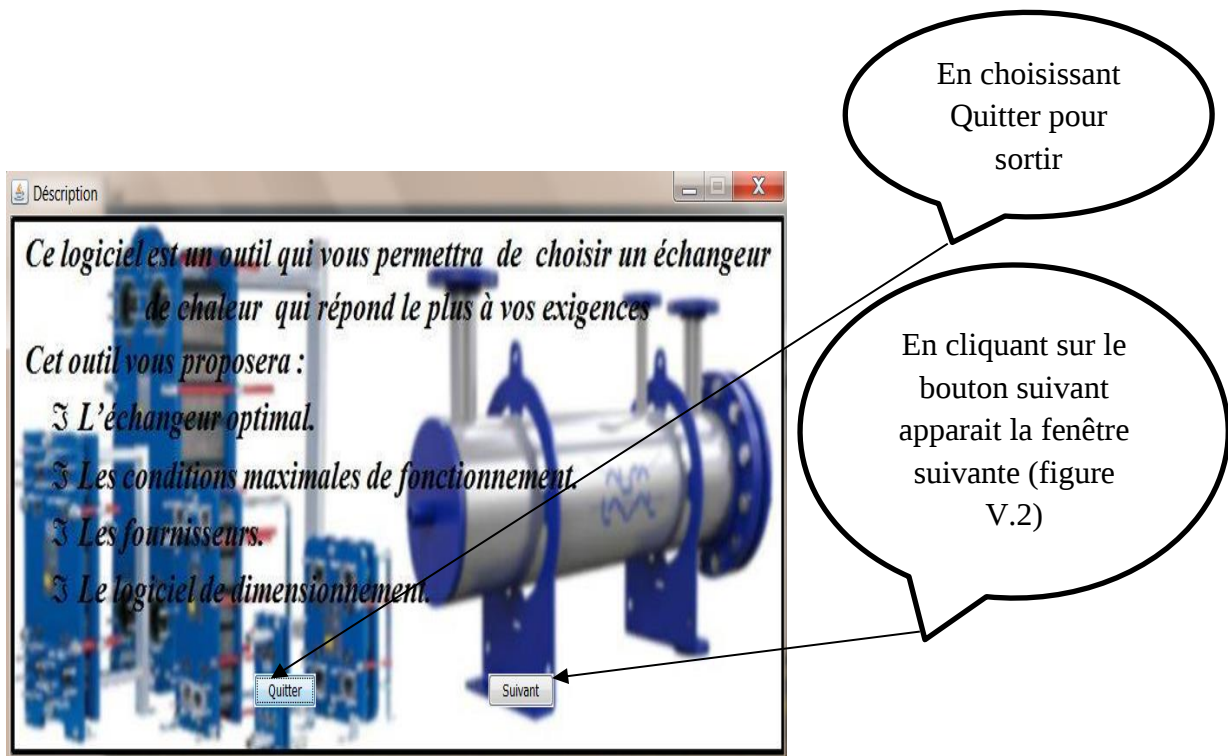


Figure V.1 : La description du logiciel

Chapitre V

V.2 : La Manipulation :

La deuxième fenêtre de cet outil est une page de manipulation (Figure V.2) qui demande l'insertion des données du choix

Le domaine d'application :

La fonction :

La catégorie voulue : ?

La température maximale : °c

La pression maximale : bar

La résistance due à l'encrassement max : m².K/W ?

Le rythme de nettoyage : ?

Figure V.2 : La fenêtre de manipulation

Le domaine d'application :

La fonction :

La catégorie voulue :

La température maximale : °c

La pression maximale : bar

La résistance due à l'encrassement max : m².K/W ?

Le rythme de nettoyage : ?

En cliquant sur la flèche les choix apparaissent

Insérez les données en unités affichées

Figure V.3 : Les choix et les unités sur l'interface

Chapitre V

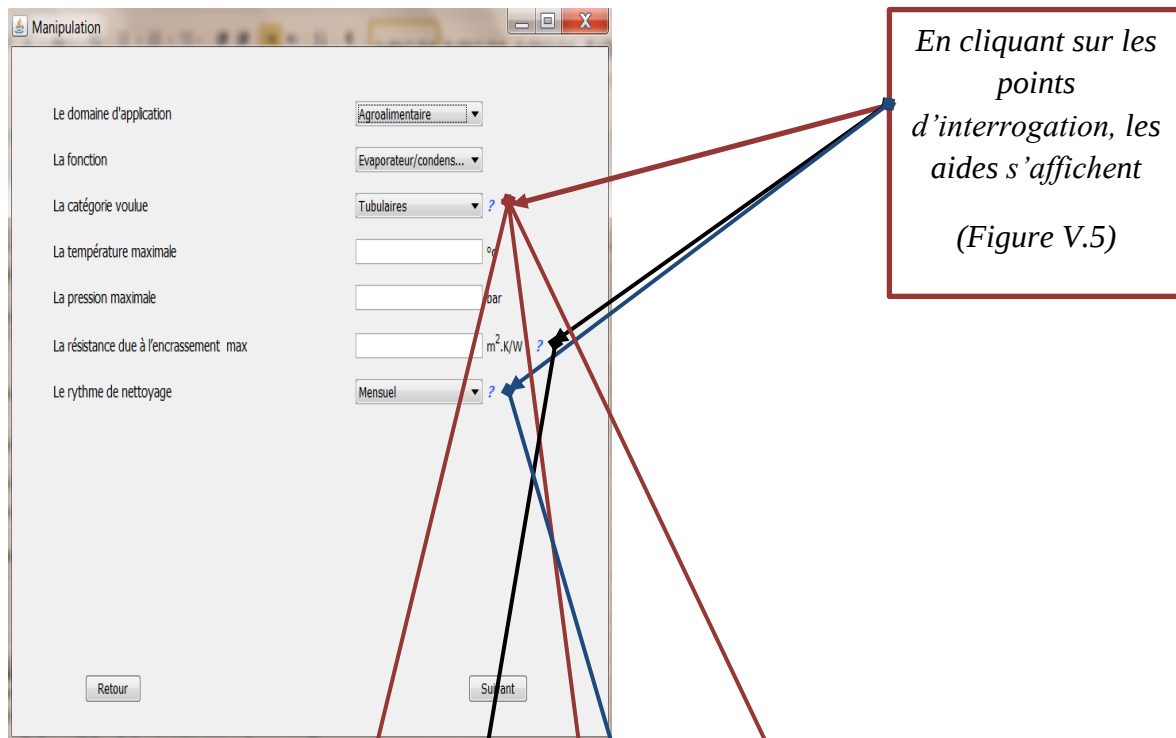


Figure V.4 : Les aides sur l'interface

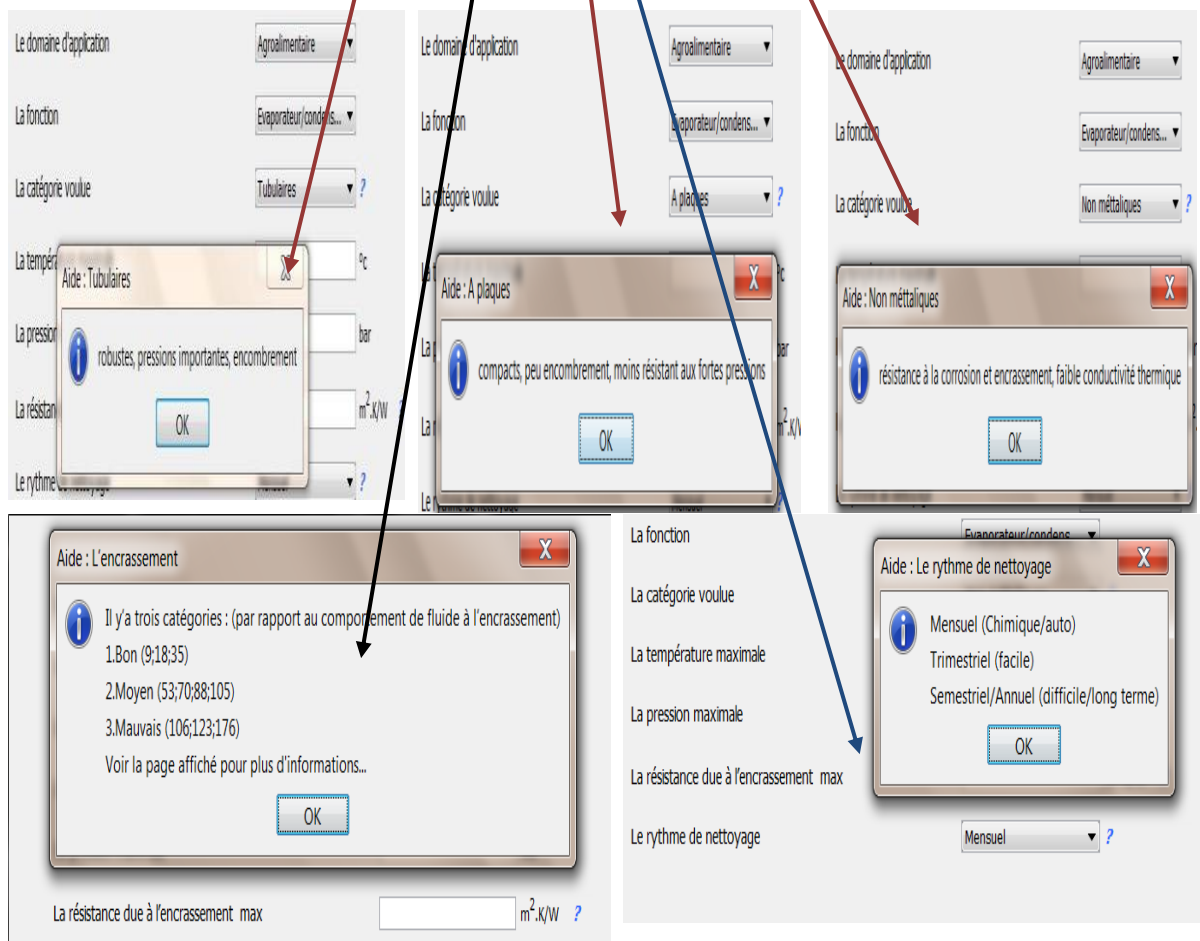


Figure V.5 : Les aides incluent dans l'interface

Chapitre V

V.3 : Les résultats

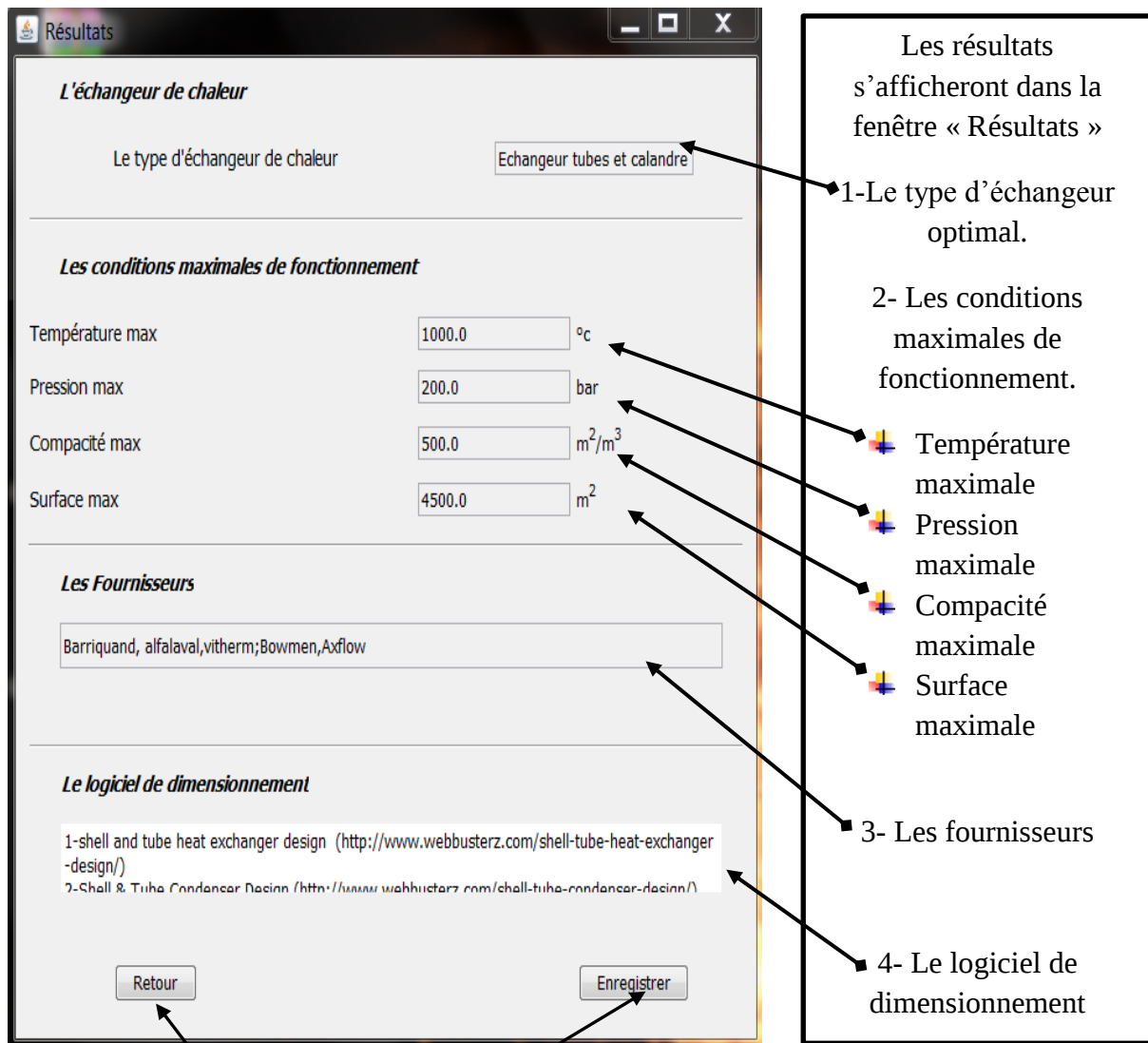


Figure V.6 : La fenêtre « Résultats »

En cliquant sur le bouton « Enregistrer » les résultats seront enregistrer sous forme '.Txt' (Figure V.8) lors d'enregistrement apparait une petite fenêtre qui vous demande le nom du fichier (Figure V.7).

En cliquant sur le bouton « Retour » apparait la fenêtre précédente (Figure V.2).

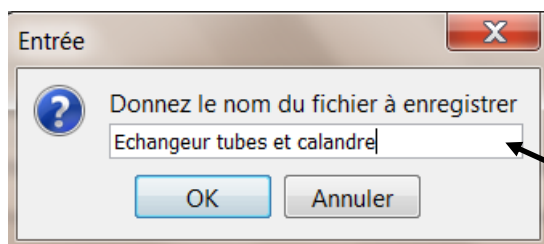


Figure V.7 : La fenêtre d'enregistrement « Entrée »

Insérez le nom du fichier à enregistrer

Chapitre V

Dans le fichier enregistré, il apparaît les exigences (les contraintes) et les résultats obtenus

Remarque : le logiciel s'affiche avec le lien de téléchargement.

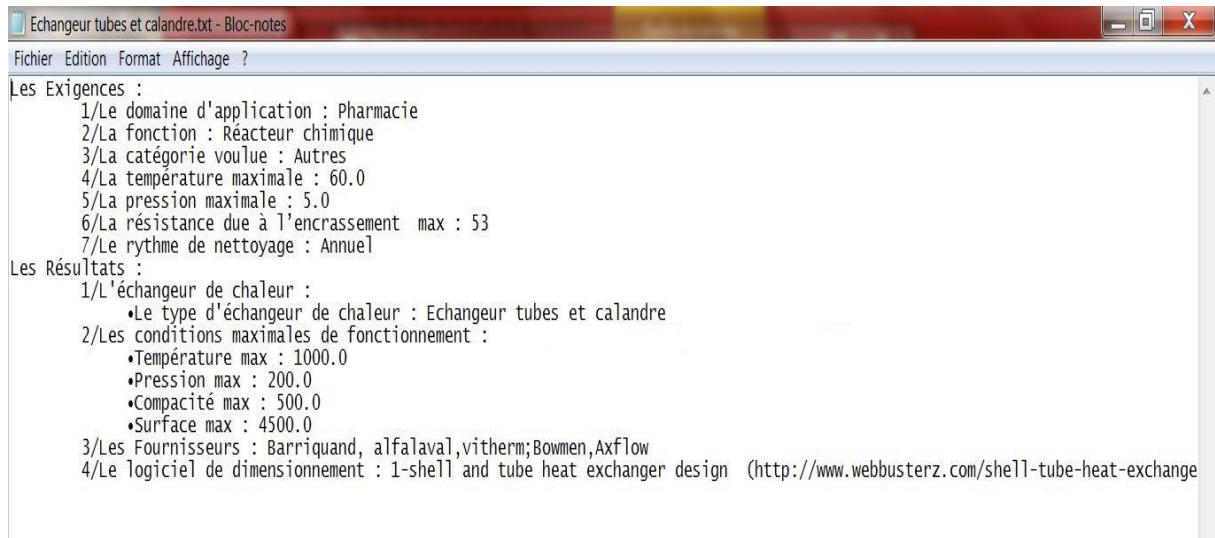


Figure V.8 : Le fichier d'enregistrement

Chapitre VI

Les Résultats des Simulations et

Commentaires

Chapitre VI : Les Résultats des Simulations et Commentaires

Dans ce chapitre nous allons faire exécuter notre outil (DSS) et cela pour divers cas. Des simulations seront réalisées pour différents choix des paramètres d'entrée et cela afin de choisir l'échangeur optimal pour chaque cas.

VI-1 : La première simulation

VI-1-1 : Problématique de la centrale de SKH (lieu de mon stage de master)

La centrale électrique de Hadjret En-Nouss SKH avait un grand problème, depuis des années, qui gênaient de très mauvaises conséquences sur le rendement de la centrale.

Cela résulte des dégâts financiers très importants (de l'ordre de Milliard de centimes).

Ce problème est dû aux attaques brusques des algues (en cas de mauvaise météo) ce qui oblige les responsables de la centrale d'arrêter les turbines et par conséquent la production.

Nous rappelons que le fluide de refroidissement est l'eau de mer. Cette eau passe par deux systèmes de filtration mais cela n'empêche pas l'accumulation des algues au niveau des échangeurs de chaleurs.

En 2017, la centrale a arrêté la production plus de 13 fois à cause de ce problème. (Tableau VI-1)

Date	Heure	Heure Fin	Description de l'incident	Cause
6-01-16	09h04	07/01/2016-22h54	Début baisse de charge	Attaque d'algues
6-01-16	11h07	14h32	Début baisse de charge	Attaque d'algues
6-01-16	23h30	07/01/2016-22h54	Shutdown TG	Température huile de graissage élevée à cause des algues
4-02-16	15h20	05/02/2016-13h14	Baisse de charge à 210, 140 MW	Attaque d'algues
4-02-16	15h20	05/02/2016-03h02	Baisse de charge à 210 MW	Attaque d'algues
4-02-16	16h55	10/02/2016-02h38	Baisse de charge à 210 MW	Attaque d'algues

Chapitre VI

4-02-16	19h52	05/02/2016-03h02	Arrêt automatique de la tranche 2	Attaque d'algues
5-02-16	04h15	10/02/2016-02h38	Déclenchement TG	Attaque d'algues
14-02-16	10h31	15/02/2016-18h44	Arrêt tranche (basse pression au collecteur et montée T° huile de graissage)	Attaque d'algues
14-02-16	10h31	17/02/2016 - 14h00	Déclenchement TG à 46 MW	Attaque d'algues
14-02-16	10h53	16h03	Déclenchement TG à 109 MW par niveau ballon HP	Attaque d'algues
14-02-16	16h03	16/02/2016 -07h31	Limitation de charge à 220 MW	Attaque d'algues, eau de mer trouble

Tableau VI-1 : les arrêts de la centrale à cause des attaques des algues

Les attaques des algues produisent un encrassement biologique qui diminue l'efficacité des refroidisseurs et par suite augmenter la température de l'eau. Ce dernier est responsable du refroidissement de tous le système depuis les pompes et les vannes jusqu'à les turbines et l'alternateur surtout que ces échangeurs refroidissent aussi l'huile de lubrification, entraînement et refroidissement.

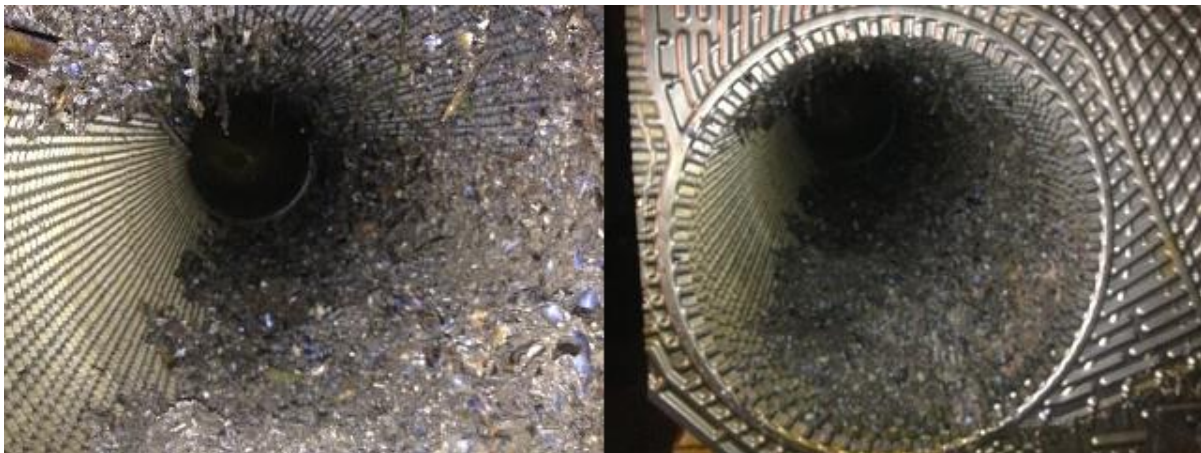


Figure VI-1 : les dépôts des algues dans l'échangeur de SKH

Chapitre VI

C'est pour ça que les responsables de SKH décident de changer le type de refroidisseur afin de diminuer l'influence de l'encrassement sur le système. Comme notre DSS sert à aider l'ingénieur à choisir l'échangeur optimal qui répond à la majorité de contraintes posées, on va l'utiliser pour résoudre ce problème.



Figure VI-2: l'échangeur à plaques et joints actuel de la centrale

Nous exécutons notre logiciel pour le cas de la centrale citée ci-dessus, avec les données suivantes figures (IV.3) :

A screenshot of a software window titled 'Manipulation'. It contains a form with several input fields and dropdown menus. The fields are labeled on the left and have corresponding values or selections on the right. At the bottom, there are two buttons: 'Retour' and 'Suivant'.

Label	Value/Selection
Le domaine d'application	Energie
La fonction	Réchauffeur/refroidis...
La catégorie voulue	Tubulaires ?
La température maximale	32.0 °C
La pression maximale	4.8 bar
La résistance due à l'encrassement max	9 m ² .K/W ?
Le rythme de nettoyage	Semestriel ?

Figure VI.3 : Les données et choix de la centrale SKH

Chapitre VI

Après exécution les résultats apparaissent dans la figure suivante :

Résultats

L'échangeur de chaleur

Le type d'échangeur de chaleur:

Les conditions maximales de fonctionnement

Température max: °C

Pression max: bar

Compacité max: m²/m³

Surface max: m²

Les Fournisseurs

Le logiciel de dimensionnement

1-shell and tube heat exchanger design (<http://www.webbustarz.com/shell-tube-heat-exchanger-design/>)

2-Shell & Tube Condenser Design (<http://www.webbustarz.com/shell-tube-condenser-design/>)

Figure VI.4 : les résultats de la 1^{ère} simulation

VI-1-2 : Commentaires

L'échangeur tubes et calandre est le choix optimal car il répondrait à toutes les contraintes posées par la centrale.

- ⌘ Il est utilisable dans le domaine d'énergie à cause de sa robustesse.
- ⌘ C'est un bon refroidisseur car il possède un écart important de température entre l'entrée et la sortie.
- ⌘ L'échangeur tubes et calandre appartient à la famille tubulaire.
- ⌘ Il résiste aux fortes pressions et est destiné aux températures élevées donc il peut fonctionner très bien aux conditions de la centrale.
- ⌘ Les dépôts des algues dans l'échangeur tubes et calandre peut être peu néfaste par rapport à l'échangeur à plaques et joints (l'échangeur actuel) par contre pour les tubes ; ils sont faciles à nettoyer en peu de temps. Cela répond parfaitement à la problématique qui m'était posée au début de mon stage.

Chapitre VI

- ⌘ Il a un bon rendement (une puissance échangée élevée) avec peu de maintenance et d'entretien.

En conclusion, notre outil a permis aux ingénieurs de la centrale SKH de résoudre leur problème qui dure depuis 10 ans (début de fonctionnement de la centrale). Ce choix optimal répond aux objectifs et à toutes les contraintes émises dans la problématique.

Le choix optimal permet un gain financier exceptionnel.

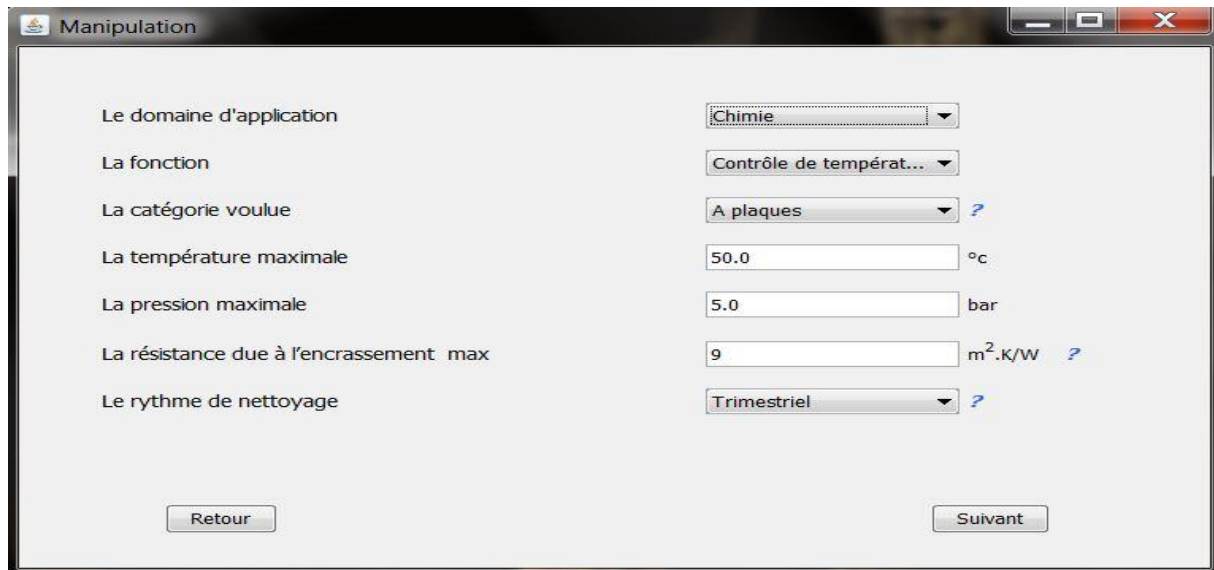
IV-1-3 : Perspectives pour le cas de SKH

Pour le dimensionnement, et d'après nos recherches, quelques propositions sont décrites dans ce qui suit. Cela permettra d'éviter au maximum l'influence des algues :

- ⌘ Il est conseillé de choisir l'échangeur tubes et calandre avec un écoulement à courant croisé dans le but d'augmenter l'écart de température et par suite l'efficacité de l'échangeur.
- ⌘ Il est préférable de faire circuler l'eau de mer qui amène les algues à l'intérieur des tubes et l'eau déminéralisée dans la calandre (car il sera possible de nettoyer le faisceau tubulaire sans démonter l'échangeur).
- ⌘ Il faut éviter l'utilisation des tubes en U (nettoyage très difficile).
- ⌘ Pour l'extérieur des tubes, il faut choisir un pas carré plutôt qu'un pas triangulaire car il offre une plus grande facilité de nettoyage.
- ⌘ Puisque on aura toujours le problème d'encrassement biologique à l'extérieur des tubes, il faut créer un écoulement turbulent en choisissant un faisceau tubulaire muni des chicanes qui ont le rôle d'augmenter la vitesse du fluide et par suite augmenter le coefficient d'échange thermique h .

Chapitre VI

VI-2 : La deuxième simulation : pour les données (figure IV.5)



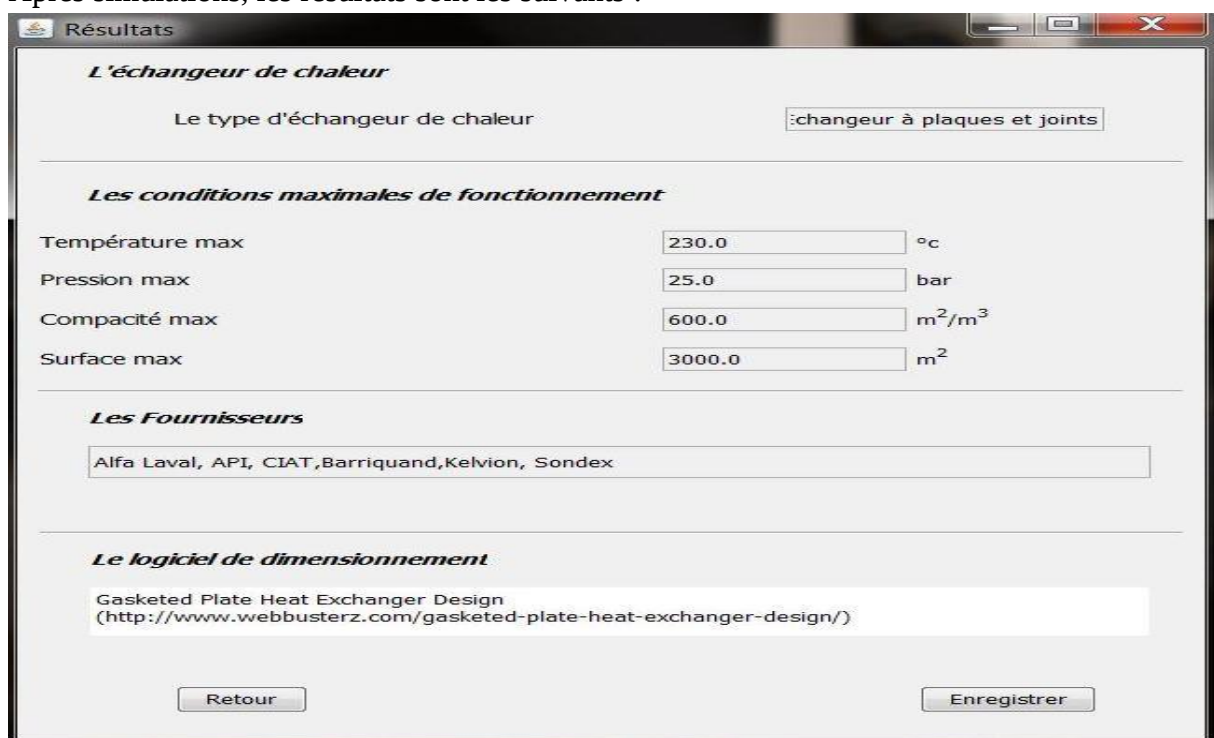
The 'Manipulation' window displays the following parameters for the simulation:

Paramètre	Valeur	Unité
Le domaine d'application	Chimie	
La fonction	Contrôle de températ...	
La catégorie voulue	A plaques	
La température maximale	50.0	°C
La pression maximale	5.0	bar
La résistance due à l'encrassement max	9	m ² .K/W
Le rythme de nettoyage	Trimestriel	

Buttons: Retour, Suivant

Figure VI.5 : Les paramètres choisis pour la 2^{ème} simulation

Après simulations, les résultats sont les suivants :



The 'Résultats' window displays the following results:

L'échangeur de chaleur

Le type d'échangeur de chaleur : changeur à plaques et joints

Les conditions maximales de fonctionnement

Paramètre	Valeur	Unité
Température max	230.0	°C
Pression max	25.0	bar
Compacité max	600.0	m ² /m ³
Surface max	3000.0	m ²

Les Fournisseurs

Alfa Laval, API, CIAT, Barriquand, Kelvion, Sondex

Le logiciel de dimensionnement

Gasketed Plate Heat Exchanger Design
(<http://www.webbustertz.com/gasketed-plate-heat-exchanger-design/>)

Buttons: Retour, Enregistrer

Figure VI.6 : Les résultats de la 2^{ème} simulation

Le commentaire :

Pour la 2^{ème} simulation l'échangeur à plaques et joints est l'échangeur optimal

Il répond aux six contraintes de la problématique :

- ✓ le domaine d'application
- ✓ la catégorie.

Chapitre VI

- ✓ la température.
- ✓ la pression.
- ✓ la résistance due à l'encrassement.
- ✓ le rythme de nettoyage.

Le logiciel donne une liste de fournisseurs d'échangeur de chaleur du type du choix optimal. Il permet aussi de faire le choix des logiciels du dimensionnement (voir lien de téléchargement).

VI-3 : La troisième simulation : pour les données suivantes (figure IV.7)

Manipulation

Le domaine d'application: Ventilation

La fonction: Gaz/gaz

La catégorie voulue: A plaques ?

La température maximale: 25.0 °C

La pression maximale: 1.1 bar

La résistance due à l'encrassement max: 9 m².K/W ?

Le rythme de nettoyage: Trimestriel ?

Retour Suivant

Figure VI.7 : Les paramètres choisis pour la 3^{ème} simulation

Les résultats de la simulation sont les suivants :

Résultats

L'échangeur de chaleur

Le type d'échangeur de chaleur: échangeur à plaques brasées

Les conditions maximales de fonctionnement

Température max: 250.0 °C

Pression max: 30.0 bar

Compacité max: 800.0 m²/m³

Surface max: 100.0 m²

Les Fournisseurs

Alfa Laval, Barriquand, Kelvion, WT, Sondex, Swep

Le logiciel de dimensionnement

SSP logiciel de calcul (<http://www.swep.fr/support/ssp--logiciel-de-calcul/>)

Retour Enregistrer

Figure VI.8 : Les résultats de la 3^{ème} simulation

Chapitre VI

Le commentaire :

Pour la 3^{ème} simulation l'échangeur à plaques brasées est l'échangeur optimal. Il répond aux sept contraintes énoncées dans la problématique à savoir :

- ✓ Le domaine d'application.
- ✓ La fonction.
- ✓ La catégorie.
- ✓ La température.
- ✓ La pression.
- ✓ La résistance due à l'encrassement.
- ✓ Le rythme de nettoyage.

VI-4 : La quatrième simulation : pour les données suivantes (figure IV.9)

Manipulation

Le domaine d'application: Chauffage/climatisation

La fonction: Liquide/gaz

La catégorie voulue: Autres

La température maximale: 25.0 °C

La pression maximale: 1.1 bar

La résistance due à l'encrassement max: 9 m².K/W

Le rythme de nettoyage: Trimestriel

Retour Suivant

Figure VI.9 : Les paramètres choisis pour la 4^{ème} simulation

Les résultats de la simulation sont les suivants :

Résultats

L'échangeur de chaleur

Le type d'échangeur de chaleur: Aéroréfrigérant

Les conditions maximales de fonctionnement

Température max: 50.0 °C

Pression max: atmosphérique bar

Compacité max: n/d m²/m³

Surface max: n/d m²

Les Fournisseurs

Trianon, Alfalaval, eurofroid, kristal, jaeggi

Le logiciel de dimensionnement

Air Cooled Heat Exchanger Design
(<http://www.webbusterz.com/air-cooled-heat-exchanger-design/>)

Retour Enregistrer

Figure VI.10 : Les résultats de la 4^{ème} simulation

Chapitre VI

Le commentaire :

Pour la 4^{ème} simulation l'aéroréfrigérant est l'échangeur optimal. Il répond aux sept contraintes :

- ✓ Le domaine d'application.
- ✓ La fonction.
- ✓ La catégorie.
- ✓ La température.
- ✓ La pression.
- ✓ La résistance due à l'encrassement.
- ✓ Le rythme de nettoyage.

VI-5 : La cinquième simulation : pour les données suivantes (figure IV.10)

Manipulation

Le domaine d'application: Réfrigération

La fonction: Evaporateur/condens...

La catégorie voulue: Tubulaires

La température maximale: -5.0 °C

La pression maximale: 1.1 bar

La résistance due à l'encrassement max: 18 m².K/W

Le rythme de nettoyage: Trimestriel

Retour Suivant

Figure VI.11 : Les paramètres choisis pour la 5^{ème} simulation

Les résultats de la simulation sont les suivants :

Résultats

L'échangeur de chaleur

Le type d'échangeur de chaleur: Echangeur coaxial

Les conditions maximales de fonctionnement

Température max: 200.0 °C

Pression max: 40.0 bar

Compacité max: n/d m²/m³

Surface max: n/d m²

Les Fournisseurs

Sentry equipment corp, WTK srl, gunt.

Le logiciel de dimensionnement

Double Pipe Heat Exchanger Design
(<http://www.webbustarz.com/double-pipe-heat-exchanger-design/>)

Retour Enregistrer

Figure VI.12 : Les résultats de la 5^{ème} simulation

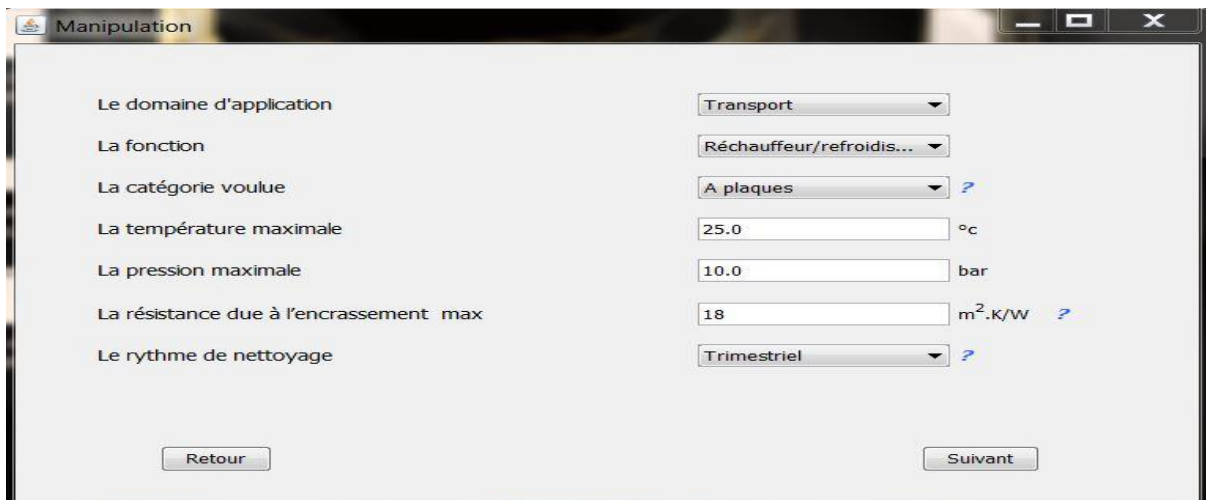
Chapitre VI

Le commentaire :

Pour la 5^{ème} simulation l'échangeur à plaques et joints est l'échangeur optimal. Il répond aux cinq contraintes :

- ✓ Le domaine d'application.
- ✓ La catégorie.
- ✓ La température.
- ✓ La pression.
- ✓ La résistance due à l'encrassement.

VI-6 : La sixième simulation : pour les données suivantes (figure IV.13)



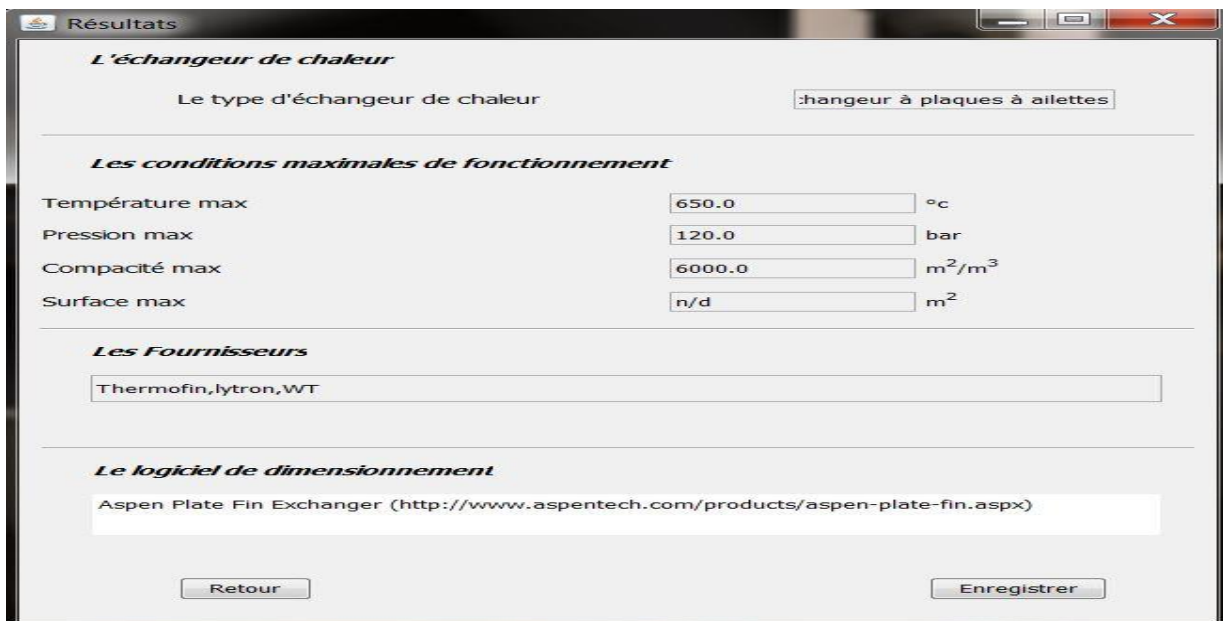
The 'Manipulation' window displays the following parameters for the 6th simulation:

Paramètre	Valeur	Unité
Le domaine d'application	Transport	
La fonction	Réchauffeur/refroidis...	
La catégorie voulue	A plaques	
La température maximale	25.0	°C
La pression maximale	10.0	bar
La résistance due à l'encrassement max	18	m ² .K/W
Le rythme de nettoyage	Trimestriel	

Buttons: Retour, Suivant

Figure VI.13 : Les paramètres choisis pour la 6^{ème} simulation

Les résultats de la simulation sont les suivants



The 'Résultats' window displays the following simulation results:

L'échangeur de chaleur

Le type d'échangeur de chaleur : échangeur à plaques à ailettes

Les conditions maximales de fonctionnement

Paramètre	Valeur	Unité
Température max	650.0	°C
Pression max	120.0	bar
Compacité max	6000.0	m ² /m ³
Surface max	n/d	m ²

Les Fournisseurs

Thermofin, lytron, WT

Le logiciel de dimensionnement

Aspen Plate Fin Exchanger (<http://www.aspentech.com/products/aspen-plate-fin.aspx>)

Buttons: Retour, Enregistrer

Figure VI.14 : Les résultats de la 6^{ème} simulation

Chapitre VI

Le commentaire :

Pour la 6^{ème} simulation l'échangeur à plaques et joints est l'échangeur optimal. Il répond aux six contraintes :

- ✓ Le domaine d'application.
- ✓ La fonction.
- ✓ La catégorie.
- ✓ La température.
- ✓ La pression.
- ✓ La résistance due à l'encrassement.

VI-7 : La septième simulation : pour les données suivantes (figureIV.15)

The 'Manipulation' window displays the following parameters for the 7th simulation:

Paramètre	Valeur	Unité
Le domaine d'application	Cryogénie	
La fonction	Evaporateur/condens...	
La catégorie voulue	Tubulaires	
La température maximale	-100.0	°c
La pression maximale	15.0	bar
La résistance due à l'encrassement max	106	m ² .K/W
Le rythme de nettoyage	Mensuel	

Buttons: Retour, Suivant

Figure VI.15 : Les paramètres choisis pour la 7^{ème} simulation

Les résultats de la simulation sont les suivants :

The 'Résultats' window displays the following simulation results:

L'échangeur de chaleur

Le type d'échangeur de chaleur: Echangeur à tubes spiralés

Les conditions maximales de fonctionnement

Paramètre	Valeur	Unité
Température max	230.0	°c
Pression max	40.0	bar
Compacité max	n/d	m ² /m ³
Surface max	100.0	m ²

Les Fournisseurs

Wt, barriquand, Alfa laval, Nexon, kompass.

Le logiciel de dimensionnement

Spiral heat exchanger design software
(<https://docs.google.com/document/d/1govLuhcUTG9QFbWWrjDhwgM97Pft6Unt1eXUIJf57o/edit>)

Buttons: Retour, Enregistrer

Figure VI.16 : Les résultats de la 7^{ème} simulation

Chapitre VI

Le commentaire :

Pour la 7^{ème} simulation l'échangeur à plaques et joints est l'échangeur optimal .Il répond aux six contraintes :

- ✓ Le domaine d'application.
- ✓ La catégorie.
- ✓ La température.
- ✓ La pression.
- ✓ La résistance due à l'encrassement.
- ✓ Le rythme de nettoyage.

VI-8 : Discussion des résultats

L'outil d'aide à la décision DSS répond parfaitement à la problématique énoncé tout au début de notre présent travail et qui consiste à guider le thermicien dans son choix optimal de l'échangeur de chaleur adéquat aux besoins de son système énergétique considéré.

On constate que dans les simulations précédemment décrites (au nombre de sept), le logiciel vérifie au moins cinq contraintes et sept au maximum (les critères de choix). Le temps de réponse est très rapide. C'est un atout majeur pour l'industriel.

Il me permet (cet outil DSS) de télécharger le logiciel de dimensionnement via le lien inclus. L'étape de la recherche du logiciel m'est évitée. Le logiciel est conçu de manière modulaire.

Conclusion Générale

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

L'échangeur de chaleur est un élément clé dans toutes les industries donc son dimensionnement est très important pour un bon fonctionnement.

Pour dimensionner, il faut choisir la bonne technologie. Ce choix présente le grand problème au monde des échangeurs.

Pour cette problématique nous avons réalisé une étude sur le choix technologique qui nous gagnera le temps et l'argent pour le rendre rapide à l'industrie. La solution est un logiciel d'aide à la décision qui oriente le thermicien dans le bon chemin afin de lui proposer un échangeur optimale en utilisant une méthode d'optimisation heuristique.

Cet outil vous proposera, après la manipulation, un échangeur optimale avec leur :

- ✓ Conditions maximales de fonctionnement.
- ✓ Fournisseurs.
- ✓ Logiciel de dimensionnement.

Avec le développement actuel dans les systèmes de récupération de la chaleur (la cogénération des déchets, les cycles combinés...etc.) l'échangeur de chaleur sera plus important et plus utilisable. Alors, il faut créer plus de logiciels, qui servira à aider le thermicien en choix technologique pour simplifier l'opération de dimensionnement.

Les perspectives de ce travail seront :

Le DSS est sous forme modulaire, en perspective nous pourrions rajouter :

- ✓ Des autres échangeurs de chaleur avec leurs caractéristiques.
- ✓ Une base de données qui comprendrait les caractéristiques physico-thermiques des fluides.
- ✓ Enrichir le logiciel par un outil qui permettrait le calcul nécessaire au dimensionnement.
- ✓ Prendre en considération les formes et la disposition des ailettes associées à l'échangeur sur le choix optimal.
- ✓ Rajouter d'autres domaines d'application.
- ✓ Intégrer la résolution du problème de la corrosion.

Références Bibliographiques

- [1]: Benayad Nada, “Etude Et Optimisation Des Echangeurs De Chaleur”, Université Mentouri Constantine, Faculté Des Sciences Exactes, Département De Physique, Spécialité : Physique Energétique, (P 18-21), 21/10/2008.
- [2]: Weber Christophe Et Magnificat André, “Echangeurs De Chaleur”, Journal De Greth, 055, (P 3–17), Février 2016.
- [3]: Total, Support De Formation Exp-Pr-Eq120-Fr, “Les Equipements-Les Echangeurs”, (P 14-44), 16/04/2007.
- [4]: Patrice Clément, Nadia Caney, Philippe Marty, Philippe Bandelier, Zoé Minvielle, Claude Roussel, Jean Antoine Gruss, “Echangeurs De Chaleur-Description”, Journal De Technique De L’ingénieur, Be9516, (P 1–27), Janvier 2014.
- [5]: Ramesh K. Shah , Dušan P. Sekulic, “Fundamentals Of Heat Exchanger Design”, John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [6]: Patrice Clément, “Echangeurs De Chaleur-Problèmes De Fonctionnement”, Journal De Technique De L’ingénieur, Be9519, (P 2–3), Avril 2014.
- [7]: Photos Capturés Lors Mon Stage Pratique Au Centrale Electrique De Hajret En-Nouss Skh, Mai 2017.
- [8]: S.V.Patankar, E.M.Sparrow, « Fully Developed Flow And Heat Transfer In Ducts Having Stream Wise-Periodic Variations Of Cross-Sectional Area », Journal Of Heat Transfer, Vol. 99, P (180-6), 1977.
- [9]: C.Bemar, F.Durst, Dm.Mceligot, « Numerical Study Of Fluid Flow And Heat Transfer In A Parallel Plate Channel With Baffles », Journal Of Heat Transfer, P (106-743), 1984.
- [10]: B.W.Webb, S.Ramadhyani, « Conjugate Heat Transfer In A Channel With Staggered Ribs», Int. J. Heat Mass Transfer 28, P (1679-1687), 1985.
- [11]: K.M.Kellar, S.V.Patankar, « Numerical Prediction Of Flow And Heat Transfer In Parallel Plate Channel With Staggered Fins », Journal Of Heat Transfer. 109, P (25-30), 1987.
- [12]: Cheng Chin-Hsiang Et Huang Wen-Hsiung, « Numerical Prediction For Laminar Forced Convection In Parallel-Plate Channels With Transverse Fin Arrays » , International Journal Of Heat And Mass Transfer, Vol. 34, N° 11, P (2739-2749), 1991.
- [13]: Z.Guo, N.K.Anand, « Three Dimensional Heat Transfer In A Channel With A Baffle In The Entrance Region », Numerical Heat Transfer, Part A, Vol. 31, P (21-30), 1997.
- [14]: Z.X.Yuan, W.Q.Tao « Numerical Prediction For Laminar Forced Convection Heat Transfer In Parallel-Plate Channels With Stream Wise-Periodic Rod Disturbances », Int. J. Numerical Methods In Fluids, Vol. 28, P (1371-87), 1998.

[15]: Yt.Yang, Cz.Hwang « Calculation Of Turbulent Flow And Heat Transfer In A Porous Based Channel », Int J. Heat Mass. Transfer; 46, P (771-80), 2003.

[16]: F.Bazdidi-Tehrani, M.Naderi-Abadi, « Numerical Analysis Of Laminar Heat Transfer In Entrance Region Of A Horizontal Channel With Transverse Fins », International Communications In Heat And Mass Transfer, Vol. 31, N° 2, P (211-220), 2004.

[17]: Wilfried Roetzel, W.Lee.Deiving, « Effet Of Baffle/Shel Leakage Flow On Heat Transfer In Shell-And-Tube Heat Exchanger », Experimental Thermal And Fluid Science, N° 8, P (10-20), 1994.

[18]: M.Molki, A.R.Mostoufizadeh, « Turbulent Heat Transfers In Rectangular Ducts With Repeated-Baffle Blockages », International Journal Of Heat And Mass Transfer, Vol. 32, N° 8, P (1491-1499), 1989.

[19]: Ahmet Tandiroglu, « Effect Of Flow Geometry Parameters On Transient Heat Transfer For Turbulent Flow In A Circular Tube With Baffle Inserts », International Journal Of Heat And Mass Transfer 49, P (1559-1567), 2006.

[20]: Yong-Gang Lei, Ya-Ling He, Pan Chu, Rui Li, « Design And Optimization Of Heat Exchangers With Helical Baffles », Chemical Engineering Science 63, P (4386-4395), 2008.

[21]: Rajendra Karwaa, B.K.Maheshwarib, Nitin Karwak, « Experimental Study Of Heat Transfer Enhancement In An Asymmetrically Heated Rectangular Duct With Perforated Baffles», International Communications In Heat And Mass Transfer 32, P (275-284), 2005

[24]: [Http://Www.Engineersedge.Com/Thermodynamics/Overall_Heat_Transfer-Table.Htm](http://Www.Engineersedge.Com/Thermodynamics/Overall_Heat_Transfer-Table.Htm) (Consulté 20/05/2017).

[25]: Yves Jannot , Christian Moyne, “Transferts Thermiques-Introduction Aux Echangeurs De Chaleur”, Edlivre. 27 Avril 2016.

[26]: Jean Castaing Lavignottes, « Technologie Et Principe De Fonctionnement Des Echangeurs De Chaleur », Université De Pau Et Des Pays De L’adour,2002.

[22]: André Bontemps, Jean-François Fourmigué, “Echangeurs De Chaleur-Dimensionnement Thermique”, Journal De Technique De L’ingénieur, Be9517, (P 2–14), Octobre 2014.

[23]:[Http://Www.Barriquand.Com/Fr/Actualites-News/Dimensionnement-Un-Echangeur-Chaleur-Mode-Emploi-Calcul](http://Www.Barriquand.Com/Fr/Actualites-News/Dimensionnement-Un-Echangeur-Chaleur-Mode-Emploi-Calcul) (Consulté Le 18/05/2017).

[27]:[Http://Www.Recuperation-Chaleur.Fr/Echangeur-Spirale](http://Www.Recuperation-Chaleur.Fr/Echangeur-Spirale) (Consulté Le 20/05/2017)

[28]:[Http://Www.Industrie.Com/Chimie/Un-Echangeur-A-Plaques-Et-A-Calandre-Robuste-Et-Performant,77135](http://Www.Industrie.Com/Chimie/Un-Echangeur-A-Plaques-Et-A-Calandre-Robuste-Et-Performant,77135)(Consulté Le 06/05/2017)

[29]:[Http://Www.Barriquand.Com/Fr/Echangeurs-Chaleur/Echangeur-Platulaire-Pcv](http://Www.Barriquand.Com/Fr/Echangeurs-Chaleur/Echangeur-Platulaire-Pcv)(06/05/2017)

- [30]: [Http://Www.Trianon-Echangeur.Com/Produits/Echangeurs-Microcanaux](http://Www.Trianon-Echangeur.Com/Produits/Echangeurs-Microcanaux) (06/05/2017)
- [31]: [Http://Www.Directindustry.Fr/Fabricant-Industriel/Echangeur-Chaleur-Coaxial-87921.Html](http://Www.Directindustry.Fr/Fabricant-Industriel/Echangeur-Chaleur-Coaxial-87921.Html)(0/05/2017)
- [32]: [Http://Www.Trianon-Echangeur.Com/Produits/Echangeurs-De-Chaleur/](http://Www.Trianon-Echangeur.Com/Produits/Echangeurs-De-Chaleur/)(23/05/2017)
- [33]: [Http://Www.Wt-Sa.Ch/Echangeurs-De-Chaleur-Avec-Tubes-En-Spirales/](http://Www.Wt-Sa.Ch/Echangeurs-De-Chaleur-Avec-Tubes-En-Spirales/)(23/05/2017)
- [34]: [Http://Www.Trianon-Echangeur.Com/Produits/Recuperateurs-Rotatifs/](http://Www.Trianon-Echangeur.Com/Produits/Recuperateurs-Rotatifs/)(06/05/2017)
- [35]: [Http://Www.Heatric.Com/Technical_Features.Html](http://Www.Heatric.Com/Technical_Features.Html) (22/05/2017)
- [36]: [Http://Www.Gunt.De/Fr/Produits/Genie-Thermique-Et-Energie/Echangeurs-De-Chaleur/Transfert-De-Chaleur-Dans-Un-Lit-Fluidise/Transfert-De-Chaleur-Dans-Un-Lit-Fluidise/060.22500/Wl225/Glct-1:Pa-149:Ca-97:Pr-1472](http://Www.Gunt.De/Fr/Produits/Genie-Thermique-Et-Energie/Echangeurs-De-Chaleur/Transfert-De-Chaleur-Dans-Un-Lit-Fluidise/Transfert-De-Chaleur-Dans-Un-Lit-Fluidise/060.22500/Wl225/Glct-1:Pa-149:Ca-97:Pr-1472) (22/05/2017)
- [37]: [Http://Www.Tetrapak.Com/Fr/Processing/Heat-Exchangers/Contherm](http://Www.Tetrapak.Com/Fr/Processing/Heat-Exchangers/Contherm) (22/05/2017)
- [38]: [Https://Www.Energieplus-Lesite.Be/Index.Php?Id=10961#C1278+C1279](https://Www.Energieplus-Lesite.Be/Index.Php?Id=10961#C1278+C1279)(23/05/2017)
- [39]: [Http://Www.Hellopro.Fr/Aerorefrigerants-Secs-2001951-Fr-1-Feuille.Html](http://Www.Hellopro.Fr/Aerorefrigerants-Secs-2001951-Fr-1-Feuille.Html)(23/05/2017)
- [40]: [Http://Www.Dedietrich.Com/Fr/Printpdf/Node/1928](http://Www.Dedietrich.Com/Fr/Printpdf/Node/1928)(22/05/2017)
- [41]: [Http://Www.Recuperation-Chaleur.Fr/Echangeur-De-Chaleur-En-Plastique](http://Www.Recuperation-Chaleur.Fr/Echangeur-De-Chaleur-En-Plastique)(20/05/2017)
- [42] : Les sites des fournisseurs des échangeurs de chaleurs

www.alfalaval.com

www.apiheattransfer.com

www.ciat.com

www.barriquand.com

www.kelvion.com

www.sondex-usa.com

www.wt-sa.ch

www.swep.net

www.thermofin.de

www.lytron.com

www.vahterus.com

www.trianon-echangeur.com

www.stiral.com

www.mersen.com
www.polytetra.de
www.colasit.ch
www.entegris.com
www.calorplast-waermetechneik.de
www.spxflow.com
www.neaen.com
www.gunt.de
www.heatric.com
www.josts.com
www.avitec.it
www.spiraxsarco.com
www.thermacore.com
www.vulcanic.com
www.adexcop.com
www.huber.fr
www.cataldi.fr
www.eurofroid.com
www.kristal.aero/
www.jaeggi-hybrid.eu
www.vitherm.com
www.ejbowman.fr
www.axflow.com
www.sentry-equip.com
www.wtk.it
www.nexson-group.com
www.kompass.com
www.morgana.fr
www.infrarodon.com
www.aeva.fr

- [43]: Aroussi, « Chapitre 5 : Heuristiques Et Méta-Heuristiques », Université Blida 1, Faculté Des Sciences, Département D'informatique, Spécialité « (Gsi) Génie Des Systèmes Informatiques », (Page 18-47), 2016.
- [44]: Dr. Lemouari Ali, Cours « Introduction Aux Métaheuristiques », Université De Jijel, Faculté Des Sciences Exactes Et Informatique, Département Informatique, Spécialités « Système D'information Et Aide A La Prise De Décision (Siad) Et Intelligence Artificielle (Ia) », (Page 25-26), 2014.
- [45]: Dr. Souici Ismahane, « Modélisation En Aide A La Décision », « Chapitre Iii : Les Systèmes Décisionnels », Spécialité « Siad, Systèmes D'informations Et Aide A La Décision », Département D'informatique, Faculté Des Sciences Exactes Et Informatique, Université De Jijel, (P 25-26), Avril 2016.
- [46]: Richard Grin, Interfaces Graphiques-Introduction, Université De Nice - Sophia Antipolis, (P 1-2), 13/3/2011.