



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : **Energétique**

Présenté par :

ZAÏTER Mohammed el amin

Thème

Etude d'échangeur de chaleur a ailette

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
ZORGANE Said	MCA	Président
HEBICHE Nouredine Anwar	MAA	Encadreur
BEN KHARBACHE Souad	MCA	Examineur

Année Universitaire : 2019 / 2020

N° d'ordre : GM/...../2020

Remerciements

A L'issue de ce travail nous adressons nos remerciements

Premièrement à dieu de nous avoir donné la force pour

Accomplir ce travail.

Nous voudrions remercier, mon encadreur de mémoire, **HEBICHE**

Noureddine et pour patience, et disponibilité et surtout ses judicieux

conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion

Également toute l'équipe pédagogique de département génie électrique de

l'université m'sila.

Nous remercions toutes les personnes qui ont aidée lors de la rédaction de ce

mémoire.

Nous remercions ainsi que tous mes amis et proches

Dédicace

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse,
leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

*A mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien
moral,*

A mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement,

*A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours
universitaire,*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de
votre soutien infailible,*

Merci d'être toujours là pour moi

Zaiter Mohammed el amin

SOMMAIRE

Introduction générale

Chapitre I : GENERALITES SUR LES ECHANGEURS DE CHALEUR

I.1 Introduction	2
I.2. Définition d'un échangeur de chaleur	2
I.3 Transfert de chaleur	3
I.3.1 Modes de transfert	3
I.4 Applications	4
I.5 Les différents Critères des classements des échangeurs de chaleur	5
I.5.1 Le mode de transfert de chaleur	6
I.5.2 Régénérateurs	6
I.5.3 Nature des fluides	8
I.5.4 Applications & constructions	8
I.5.5 Circulation des fluides	9
I.5.6 Contact direct	11
I.5.7 la compacité de l'échangeur	12
I.5.8 la nature du matériau de la paroi d'échange	12
I.5.9 Classement technologies	12
I.6 Type des échangeurs de chaleur les plus connus	12
I.6.1 Echangeur spiral	13
I.6.2 Echangeur de chaleur à lamellaires	13
I.6.3 Echangeur de chaleur à plaques et jointes	14
I.6.4 Échangeur de chaleur rotatif	14
I.6.4.1 Colonne de Bouhy	14
I.6.4.2 L'échangeur à bloc	15
I.6.4.3 Tour de refroidissement	16
I.6.5 Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire	17
I.6.6 Échangeur de chaleur à ailettes	18
I.7 Conclusion	18

Chapitre II : Réalisation des échangeurs en pratique et échangeur de chaleur à ailettes

II.1 Introduction	20
II.2 Réalisation des échangeurs chaleur en pratique	20
II.2.1 Applications en matière civile	20

II.2.2 Applications dans l'industrie	21
II.3 Echangeur de chaleur à ailettes	28
II.3.1 Définition	28
II.3.1.1 Ailettes plain (Batterie à ailettes)	28
II.3.1.2 Ailettes annulaires	29
II.3.2 principe de fonctionnement	29
II.3.3 Domaines d'application	30
II.3.4 Construction et fonction	30
II.3.5 Matériaux de fabrication	30
II.3.6 Les type de fabrication	30
II.4 Présentation d'un exemple d'échangeur de chaleur a ailette	34
II.4.1 Description	34
II.4.2 Détails techniques	35
a. Spécification	35
b. Caractéristiques techniques	36
c. Dimensions et poids	37
d. Nécessaire pour le fonctionnement	37
II.5 Conclusion	37

Chapitre III : CALCUL D'UN ECHANGEUR A AILETTE

III.1 Introduction	33
III.2 Présentation le travail	35
III.3 Les étapes de calcul	37
III.4 Faire le calcul	37
III.5 Commentaire des résultats :	42
III.5.1 Commentaire Tableau 01	42
III.5.2 Commentaire Tableau 02	42
III.5.3 Commentaire Tableau 03	43
III.5.4 Commentaire Tableau 04	43

Conclusion général

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I.1	échangeur de chaleur	3
Figure I.2	Le principe figurant un échange de chaleur méthodique et anti-méthodique	3
Figure I.3	Bruleurs régénératifs.	7
Figure I.4	échangeur tubulaire	10
Figure I.5	circulation autour des baffles	10
Figure I.6	une tour de réfrigération	11
Figure I.7	Echangeur de chaleur spirale	13
Figure I.8	Echangeur de chaleur à lamellaires	14
Figure I.9	Echangeur de chaleur à plaques et jointes	14
Figure I.10	Colonne de Bouhy	15
Figure I.11	L'échangeur à bloc.	16
Figure I.12	Tour de refroidissement	16
Figure I.13	Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire	17
Figure I.14	Échangeur de chaleur à ailettes	18

Chapitre II

Figure II.1	schéma d'Organique sur gaz de combustion	21
Figure II.2	Cycle d'Incinération des déchets	22
Figure II.3	Radiateur de voiture	22
Figure II.4	schéma de Récupération sur air comprimé	23
Figure II.5	Chaudière	24
Figure II.6	Ballon d'eau chaude sanitaire	24
Figure II.7	schéma de Ventilation mécanique centralisée avec récupération de chaleur	25
Figure II.8	Principe du recyclage des gaz d'échappement (pneumatique) [10]	26
Figure II.9	Concentrateur solaire	27
Figure II.10	schéma d'Economiseur sur gaz d'échappements de moteur de bateaux	27
Figure II.11	échangeurs de chaleur à ailettes	28
Figure II.12	Echangeurs de chaleur tubes à ailettes plain.	29
Figure II.13	Diffèrent types des Echangeurs de chaleur tubes à ailettes annulaires.	29
Figure II.14	Type FLNB	31
Figure II.15	Type LK	31
Figure II.16	Type LBD	32
Figure II.17	Type LBF	32
Figure II.18	Type LBW	33
Figure II.19	Type KKG	33
Figure II.20	Échangeur de chaleur ET 300	34
Figure II.21	Schéma d'Échangeur de chaleur ET 300	35
Figure II.22	Capture d'écran du logiciel	36

Chapitre III

Figure III.1	schéma Echelonnement des températures	33
Figure III.2	Diagramme des températures d'un échangeur à contre-courant.	35

LISTE DES TABLEAU

Chapitre III

Tableau (III-01)	calculé les paramètres énergétiques de l'échangeur de chaleur à ailette.	38
Tableau (III-02)	calculé les paramètres énergétiques de l'échangeur de chaleur à ailette.	39
Tableau (III-03)	calculé les paramètres énergétiques de l'échangeur de chaleur à ailette.	40
Tableau (III-04)	calculé les paramètres énergétiques de l'échangeur de chaleur à ailette.	41

NOMENCLATURE

Symbole	Unité	Définition de la grandeur
T_{ce}	°C	Température entrée eau chaude.
T_{cs}	°C	Température de sortie eau chaude
T_{fe}	°C	Température entrée eau froide
T_{fs}	°C	Température de sortie eau froide
S	m ²	Surface d'échange
E	%	L'efficacité
NUT		Le nombre d'unités de transfert
DTLM	°C	Moyenne logarithmique de la différence de Température
Φ_c	W	flux de chaleur du fluide chaud
Φ_f	W	flux de chaleur du fluide froid
K	W/m ² K	Le coefficient d'échange d'un échangeur
Q _{mc}	Kg/s	Débit massique d'eau chaude
Q _{mf}	Kg/s	Débit massique d'eau froide
C _{pc}	J/Kg. °C	Chaleur massique de l'eau chaude
C _{pf}	J/Kg. °C	Chaleur massique de l'eau froide

INTRODUCTION

GENERAL

Il y a des rapports d'échangeurs de chaleur que nous les comprenons aujourd'hui de la fin époque républicaine de Rome, comme un élément de chauffage de l'eau calidaria tout spa. L'échange de chaleur calidaria est produite en faisant passer les fumées de combustion du bois en contact avec des dalles de pierre sur le côté opposé de ce qui a été fait passer l'eau à chauffer. Dans les temps plus tard, les fumées ont été faites pour passer à travers les canaux toujours pratiqués dans la pierre, réalisant ainsi un rudimentaire. Dans tous ces cas, cependant, il manquait le confinement du fluide froid (eau), puis la définition de l'échangeur est sujette à caution.

Les échangeurs de chaleur sont des appareils qui fournissent l'énergie thermique d'écoulement entre deux ou plusieurs fluides à des températures différentes. Ils sont utilisés dans une large variété d'applications, ceux-ci incluent la production d'énergie ; les industries alimentaires, de produit chimique ; dans le domaine d'électronique ; technologie environnementale ; rétablissement de chaleur résiduelle ; industrie ; et climatisation, réfrigération, et applications de l'espace. Parmi ces multiples applications, on peut citer par exemple son utilisation dans les opérations de raffinerie où l'élaboration des produits commerciaux à partir du pétrole brut.

Le but de ce travail est de présenter une étude sur un échangeur de chaleur à ailette.

Dans ce travail, on a abordé en premier chapitre quelques généralités sur les échangeurs de chaleur ainsi que leurs critères de classification et les types , ainsi dans deuxième chapitre présenter la réalisation des échangeurs de chaleur dans pratique et l'échangeur de chaleur à ailette et savoir sa description, son assemblage et ses différents types, le troisième chapitre est basé sur le calcul de l'échangeur à ailette.

Chapitre I :

Généralité sur les

Echangeurs de

Chaleur

I.1 Introduction

Aujourd'hui, le domaine industrielle, l'échangeur de chaleur est un composant principale dans les grandes systèmes des énergies, Une grande part (90 %) de l'énergie thermique utilisée dans les procédés industriels transite au moins une fois par un échangeur de chaleur, le transfert de chaleur doit s'effectuer sans altération des milieux intervenant dans le transfert thermique. L'utilisation d'équipements spécifiques d'échange est alors nécessaire. Ces équipements sont connus sous la dénomination d'échangeurs de chaleur. Ce sont des systèmes thermodynamiques présents dans toutes les unités industrielles dans lesquelles interviennent les processus d'extraction de chaleur.

Dans se chapitre nous allons donner une définition et application de échangeur chaleur, nous présentons les déférentes critères de classement l'échangeur chaleur, ainsi les déférentes types des échangeurs chaleur.

I.2 Définition d'un échangeur de chaleur

Un échangeur de chaleur est un dispositif permettant de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre sans les mélanger. Le flux thermique y traverse la surface d'échange qui sépare les fluides [1].

L'intérêt du dispositif réside dans la séparation des deux circuits et dans l'absence d'autres échanges que la chaleur, qui maintient les caractéristiques physico-chimiques (pression, concentration en éléments chimiques...) de chaque fluide inchangées hormis leur température ou leur état.

L'exemple classique d'échangeur de chaleur se trouve dans un moteur à combustion interne dans lequel un liquide de refroidissement moteur traverse des serpentins de radiateur et de l'air passe par les serpentins, ce qui refroidit le liquide de refroidissement et réchauffe l'air entrant. En génie électrique, les applications courantes des échangeurs de chaleur incluent les générateurs de vapeur, les ventilateurs, les échangeurs de chaleur à eau de refroidissement et les condenseurs. Par exemple, un générateur de vapeur est utilisé pour convertir l'eau d'alimentation en vapeur d'eau issue de la chaleur produite dans le cœur d'un réacteur nucléaire. La vapeur produite entraîne la turbine.

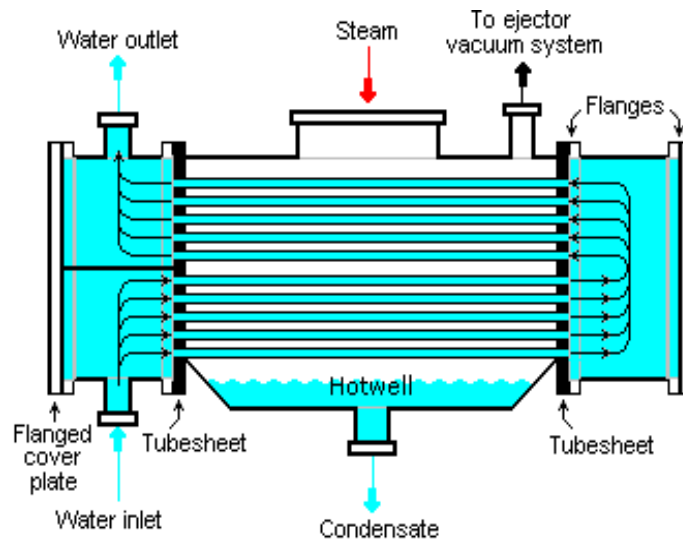


Fig I.1 : échangeur de chaleur

I.3 Transfert de chaleur

Le transfert de chaleur dans un échangeur thermique implique généralement une convection dans chaque fluide et une conduction thermique à travers la paroi séparant les deux fluides. Dans l'analyse des échangeurs de chaleur, il est souvent commode de travailler avec un coefficient global de transfert de chaleur, connu comme un facteur U . Le facteur U est défini par une expression analogue à la loi de Newton sur le refroidissement [2].

I.3.1 Modes de transfert

Croquis de principe figurant un échange de chaleur méthodique et anti-méthodique. Dans l'échange méthodique, la température de sortie du fluide froid peut être plus élevée que celle du fluide chaud. Dans l'échange anti-méthodique, ce n'est pas possible.

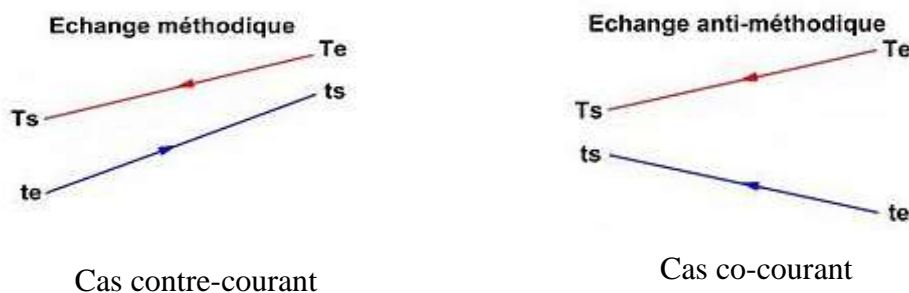


Fig I.2 : Le principe figurant un échange de chaleur méthodique et anti-méthodique

L'échange de chaleur se produit toujours par convection : plus la surface d'échange est grande, plus l'échange est performant.

On peut distinguer trois types d'échangeurs de chaleur principaux :

- à co-courant (ou échangeur anti-méthodique) : les deux fluides circulent parallèlement et dans le même sens. Dans un échangeur anti-méthodique, la température de sortie du fluide froid est nécessairement moins élevée que la température de sortie du fluide chaud.
- à contre-courant (on parle aussi d'échangeur méthodique) : les deux fluides circulent parallèlement mais dans les sens opposés. Dans un échangeur méthodique, le coefficient d'échange est sensiblement supérieur à celui d'un échangeur anti-méthodique et la température de sortie du fluide froid peut être plus élevée que la température de sortie du fluide chaud.
- à courants croisés : les deux fluides circulent dans des directions plus ou moins perpendiculaires.

Certain échangeurs sont hybrides:

- en épingle (ou en U) : le premier circuit fait un aller-retour dans une enveloppe que le second fluide parcourt. Cette configuration est comparable à un échangeur à courant parallèle sur la moitié de la longueur et pour l'autre moitié à un échangeur à contre-courant ; des chicanes sur le second circuit peuvent également former des échangeurs à courants croisés.
- à contact direct : les deux fluides, nécessairement dans un état différent, peuvent être mis en contact comme c'est le cas dans les tours de refroidissement. Des buses pulvérisent l'eau à refroidir qui tombe dans l'air circulant dans la tour ; ce dernier s'échauffe, s'élève du fait de son changement de densité puis s'échappe à l'air libre. Un échange supplémentaire intervient par changement d'état : l'eau qui s'évapore refroidit celle qui reste liquide. Ça reste un échangeur à contre-courant mais avec plus d'échanges au prix de pertes d'eau.
- dans le même principe et pour améliorer l'efficacité des échangeurs air-air, on peut injecter dans une des veines de l'eau pour qu'elle s'évapore, ce qui réduit la température de sortie des deux circuits et s'approche d'un refroidissement adiabatique.

I.4 Applications

Les échangeurs de chaleur sont utilisés dans de nombreux domaines et ont nombre d'applications, telles que :

- les chaudières, dont les échangeurs permettent de produire de l'eau de chauffe en récupérant l'énergie des produits de combustion ;
- les radiateurs d'appartements permettent, à l'aide d'eau de chauffe, de chauffer l'air des locaux où ils sont installés pour notre confort ;
- l'eau chaude sanitaire peut être produite en réchauffant de l'eau du robinet à l'aide d'un circuit fermé de chauffage, a priori impropre à la consommation humaine, sans dénaturer l'eau traitée ;
- les machines frigorifiques, qu'il s'agisse d'un réfrigérateur, d'un climatiseur ou d'une pompe à chaleur, où ils sont indispensables ;
- le refroidissement de fluides chauds, pour éviter des dommages dus à une température trop élevée ; c'est le cas typique du radiateur automobile ;
- comme interface entre un circuit primaire et un circuit secondaire, pour assurer le confinement d'une zone sensible, typiquement dans une centrale nucléaire ;
- pour recycler la chaleur avant son rejet dans le milieu extérieur, comme le fait un récupérateur sur air vicié dans une installation de ventilation à double flux.

I.5 Les différents Critères des classements des échangeurs de chaleur

Il existe différents classements des échangeurs de chaleur suivant le critère utilisé. Le classement peut être envisagé en fonction :

- ❖ du mode de transfert de chaleur
- ❖ Régénérateurs
- ❖ Nature des fluides
- ❖ Applications & constructions
- ❖ du mode de circulation des fluides
- ❖ du contact direct
- ❖ de la compacité de l'échangeur
- ❖ la nature du matériau de la paroi d'échange
- ❖ Classement technologique

I.5.1 Le mode de transfert de chaleur

Le mode de transfert de chaleur est influencé principalement par la nature des fluides et par les niveaux de t° de ceux-ci. Ainsi, dans le cas des liquides c'est la convection qui domine largement pour les transferts de chaleur entre le fluide et la surface d'échange. Par contre, pour les gaz de combustion (fumées) à la sortie d'un four à haute t° (800 ... 1000°C) le rayonnement jouera un rôle déterminant dans le transfert de la chaleur vers la surface d'échange. Par contre, l'air, même à haute t° ne transfère sa chaleur que par convection. En effet, seuls les gaz dont la molécule est au moins triatomique (CO_2 , H_2O , NH_3 , ...) sont en mesure d'émettre ou d'absorber du rayonnement infrarouge de façon significative. L'air étant composé principalement d'azote (N_2 , 79%) et d'oxygène (O_2 , 21%) c'est-à-dire de molécules biatomiques, il n'émet ni n'absorbe l'infrarouge. Ce n'est que lorsqu'il est chargé de vapeur d'eau (H_2O) qu'il devient émetteur-récepteur dans l'infrarouge. La construction d'un échangeur est évidemment influencée par la possibilité d'exploiter le rayonnement thermique. En effet, le rayonnement infrarouge des gaz est directement lié à l'épaisseur de la couche gazeuse concernée en tant qu'émetteur ou récepteur ("absorbeur"). Ceci est à mettre en relation avec la visibilité en cas de brouillard qui s'exprime comme la distance maximale à laquelle on peut voir correctement. C'est donc bien l'épaisseur de brouillard entre l'objet et l'observateur qui détermine l'absorption de la lumière. Il en va de même pour le rayonnement des gaz. Les récupérateurs de chaleur qui servent au préchauffage de l'air comburant des fours à haute t° (fours de réchauffage en sidérurgie par exemple) seront donc composés de tubes relativement écartés pour disposer d'une épaisseur gazeuse suffisante entre ceux-ci. Du côté de l'air comburant qui circule à l'intérieur des tubes, seule la convection intervient et c'est la vitesse à laquelle l'air circule qui détermine pour une large part l'intensité de la convection. Dans le cas de l'évaporation ou de la condensation d'un fluide (la vapeur d'eau, les fluides frigorigènes dont l'ammoniac NH_3 et le gaz carbonique CO_2 , etc.) il s'agit de convection même si celle-ci prend plusieurs formes particulières suivant la densité de flux transférée : ébullition en film ou nucléée par exemple pour l'évaporation.

I.5.2 Régénérateurs

Un critère plus particulier de classification des échangeurs consiste à distinguer ceux dans lesquels est organisé le stockage temporaire de la chaleur du fluide chauffant avant de la transmettre au fluide chauffé. Une très vieille application de ce principe est celui des "cowper" de haut-fourneaux. Ceux-ci sont constitués d'un empilement de briques réfractaires au travers duquel circulent temporairement les gaz chauds sortant du haut fourneau. Lorsque

les briques atteignent une t° suffisante, les gaz chauds sont déviés vers un deuxième cowper tandis que le premier est traversé par l'air comburant qui s'échauffe au contact des briques. Après refroidissement des briques, la circulation des gaz et de l'air est à nouveau inversée et le cycle recommence, chaque haut fourneau étant muni d'au moins deux cowper, souvent trois, qui fonctionnent en permutation des rôles. Dans ce cas, il n'y a pas de "surface d'échange" à proprement parlé mais bien une charge d'éléments qui permettent le stockage temporaire de la chaleur du fluide chauffant avant de restituer celle-ci au fluide chauffé. Le même principe a trouvé deux applications plus récentes : les brûleurs régénératifs et l'échangeur à accumulation. Le brûleur régénératif est un brûleur qui comporte un empilage réfractaire servant d'accumulateur de chaleur. Durant un temps déterminé, le brûleur est éteint mais les gaz de combustion sont repris dans la chambre du four pour les faire traverser l'empilage qui stocke ainsi la chaleur des fumées. Ensuite, le brûleur est rallumé et il fonctionne avec de l'air comburant préchauffé dans l'empilage. Le four est donc équipé de deux fois plus de brûleurs qu'il n'en faudrait s'il n'étaient pas régénératifs et, à tout moment, la moitié des brûleurs sont éteints et font du stockage de chaleur tandis que l'autre moitié est allumée et fonctionne à l'air chaud.

Un exemple de brûleurs régénératifs, dont la "virole" inférieure contient l'empilement réfractaire



Fig I.3 : Bruleurs régénératifs

I.5.3 Nature des fluides

La nature des fluides chauffant et chauffé ou, respectivement "primaire" et "secondaire" est en soi un critère de classification des échangeurs. On parle par exemple d'échangeurs gaz/gaz, liquide/gaz ou liquide/liquide. Plus spécifiquement on aura des échangeurs air/air, eau/air, eau/eau, etc. Par exemple, une "batterie de chauffe" ou "aérotherme" qui sert à chauffer l'air ambiant dans un hall de stockage est un échangeur eau/air. Lorsque l'un des fluides est évaporé ou condensé dans l'échangeur, on parle "d'évaporateurs" ou de "condenseurs". Par exemple, sur un groupe frigorifique, l'échangeur "qui fait le froid" est celui dans lequel s'évapore le fluide frigorigène et on l'appelle communément "l'évaporateur". De l'autre côté, l'échangeur dans lequel est condensé le fluide frigorigène est le "condenseur". Très souvent, l'évaporateur refroidit l'air ambiant intérieur et il s'agit donc d'un échangeur liquide (à évaporer) /air. De même le condenseur est refroidi par exemple au moyen de l'air ambiant extérieur et est donc un échangeur gaz (à condenser) /air.

I.5.4 Applications & constructions

La conception et la fabrication d'un échangeur de chaleur sont des processus beaucoup plus complexes qu'il n'y paraît à première vue. En effet, il faut prendre en compte différents facteurs qui, comme souvent, sont contradictoires :

- optimiser et structurer la surface d'échange c'est-à-dire éviter les m^2 qui sont peu efficaces
- réduire autant que possible l'encombrement de l'appareil (compacité)
- maximiser les coefficients de transferts thermiques (convection et rayonnement) entre chacun des fluides et la surface d'échange
- maximiser la conduction au sein de la surface d'échange elle-même
- minimiser les pertes de charges pour les deux fluides
- assurer l'étanchéité des deux côtés
- permettre la dilatation thermique différentielle de tous les composants
- éviter l'encrassement de la surface d'échange et organiser son nettoyage éventuel
- éviter la corrosion (choix des matériaux)
- limiter la fatigue thermique éventuelle.

Pour ne donner qu'un exemple du caractère contradictoire de ces facteurs, on peut regarder de plus près la question des coefficients de transferts thermiques et celle des pertes de charge. Pour augmenter la convection entre un fluide et un tube d'échangeur, il faut avant tout augmenter la vitesse de circulation du fluide. Malheureusement, ce faisant, la perte de charge dans les tubes augmente comme le carré de la vitesse. On comprend donc facilement qu'il y a lieu de réaliser un compromis entre les deux facteurs et que ce compromis ne peut être trouvé qu'en calculant l'échangeur dans son ensemble. En effet, si la vitesse augmente, la convection augmente et l'on pourra réduire la surface d'échange en conséquence. Par ailleurs, l'augmentation de la vitesse induit une augmentation sensible de la perte de charge mais la réduction de la surface d'échange implique une réduction de la longueur des tubes et donc aussi de la perte de charge. Comme aucune de ces influences n'est simplement linéaire, seul un calcul détaillé permet de trouver l'optimum.

En pratique, l'application visée détermine largement l'orientation que prennent dès le départ la conception et la fabrication d'un échangeur. Il n'est pas possible de donner ici un inventaire des applications et des solutions existantes. Prenons plutôt quelques exemples parmi les plus courants.

I.5.5 Circulation des fluides

Comme déjà expliqué dans la première partie de cet article, la circulation des deux fluides peut être organisée :

- à co-courants ou courants parallèles : dans ce cas les deux fluides parcourent la surface d'échange dans le même sens et l'écart de t° entre ceux-ci chute tout le long de la surface ;
- à contre-courants ou à courants opposés : dans ce cas les deux fluides circulent en sens contraire et l'écart de t° reste important tout le long de la surface d'échange. Ce mode de circulation donne des échangeurs qui, à même surface d'échange que ceux à co-courants, sont plus efficaces que ces derniers ;
- à courants croisés : il s'agit d'un mode intermédiaire entre la circulation à co-courant et celle à contre-courants qui s'impose souvent par lui-même en fonction des contraintes technologiques liées à l'alimentation de l'échangeur et à l'organisation matérielle de la surface d'échange et/ou de la circulation des fluides.

Il faut aussi mentionner que beaucoup d'échangeurs sont organisés de manière à permettre une circulation "multi-passes" de l'un ou des deux fluides. Dans l'exemple de configuration

qui a été illustrée à la fin de la première partie, on a vu que les échangeurs "Shell and tubes" sont souvent construits au moyen de tubes en forme de U ("U-tubes") de sorte que le fluide qui circule à l'intérieur des tubes fait un aller-retour par rapport au sens de circulation de l'autre fluide :



Fig I.4 : échangeur tubulaire

On voit sur cette photo que l'entrée et la sortie du fluide qui circule à l'intérieur des tubes se font toutes deux sur une même "boîte à eau" ou "chambre" à l'extrémité avant. Cette boîte à eau est divisée horizontalement en deux : une moitié servant à l'alimentation des tubes, l'autre moitié à la collecte. Le fluide qui circule à l'extérieur des tubes, c'est-à-dire dans la virole extérieure ou calandre ("Shell") entre à une extrémité et ressort à l'autre. Ainsi, la moitié de la longueur développée des tubes fonctionne à co-courants et l'autre moitié à contre-courants. Le croquis suivant permet de mieux comprendre la circulation des fluides :

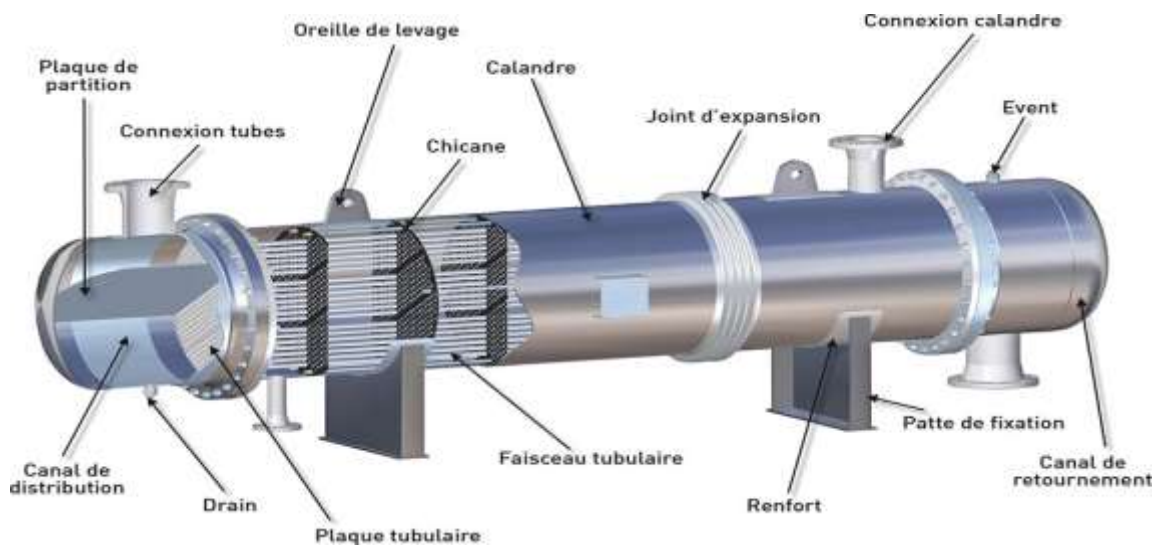


Fig I.5 : circulation autour des baffles

Outre ce qui vient d'être expliqué, on voit qu'en réalité la circulation du fluide côté calandre ne se fait pas le long des tubes mais plus ou moins perpendiculairement à ceux-ci. En effet l'espace de circulation est interrompu par plusieurs plaques, appelées baffles, au travers desquelles passent les tubes et qui obstruent partiellement la section de la calandre. Ainsi le fluide est forcé de contourner ces baffles pour circuler localement à courants-croisés par rapport aux tubes ; ce qui intensifie l'échange par convection (plus de turbulence). Nous voyons donc que la circulation des fluides est souvent complexe ; dans le cas suivant :

- la circulation est globalement à co-courants pour la première moitié de la longueur des tubes et est globalement à contre-courants pour la seconde moitié ;
- la circulation se fait localement à courants croisés.

I.5.6 Contact direct

Contrairement à ce qui a été dit au début de la première partie de cet article, certaines applications impliquent une forme de "mélange" des deux fluides : le contact direct. C'est par exemple le cas d'une tour de réfrigération humide comme celles que l'on voit à proximité des centrales électriques :



Fig I.6 : une tour de réfrigération

Et dont le principe consiste à faire "pleuvoir" l'eau de refroidissement de la centrale dans un courant d'air ascendant. Au contact de l'air, une partie de l'eau chaude s'évapore en emportant avec elle la chaleur latente d'évaporation que lui fournissent (en partie) les gouttelettes d'eau elle-même. Ainsi, l'air s'humidifie au profit du refroidissement de l'eau et c'est parce que l'air humide est plus léger que l'air sec qu'un courant ascendant s'établit naturellement au sein de la tour. Pour accroître la surface de contact entre l'air et l'eau, ces tours sont partiellement garnies d'un "corps d'échange" qui assure une bonne dispersion de l'eau et l'homogénéité de son ruissellement.

Inversement il existe des applications où l'on cherche à réduire la teneur en vapeur d'eau d'un gaz ce qui peut être réalisé par exemple en pulvérisant de l'eau froide dans un flux d'air humide. Si la t° de l'eau est inférieure à la t° de rosée de l'air humide, la vapeur d'eau contenue dans l'air se condense au contact des gouttelettes d'eau. Ce type d'échangeur est parfois garni de fils verticaux le long desquels l'eau ruisselle en film mince [3].

I.5.7 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 $800\text{m}^2/\text{m}^3$.

I.5.8 la nature du matériau de la paroi d'échange

On retiendra deux types de paroi :

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

I.5.9 Classement technologique

Les principaux types d'échangeurs rencontrés sont les suivants :

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

I.6 Type des échangeurs de chaleur les plus connus

On va citer les échangeurs de chaleur les plus connus dans les industrielles et civiles.

I.6.1 Echangeur spiral

L'échangeur de chaleur spiral est constitué de deux canaux concentriques formés par deux plaques en métal enroulées de manière hélicoïdale. La distance entre les deux canaux est obtenue à l'aide de taquets soudés sur les plaques et en tenant compte du débit de fluide et les pertes de charge.

La circulation des fluides est du type monocanal à courants parallèles ou croisés. Cet échangeur peut fonctionner jusqu'à des pressions de l'ordre de 25 bar et des températures de l'ordre de 300 ° C [4].



Fig I.7 : Echangeur de chaleur spirale.

I.6.2 Echangeur de chaleur à lamellaires

L'échangeur de chaleur lamellaires est constitué a des plaques formées par des tôles embouties et soudées deux par deux. Ces plaques soudées forment la lamelle dans laquelle l'un des deux fluides s'écoule. Ce type d'échangeur rassemble à l'échangeur de chaleur tubes et calandre où on remplace les tubes par les lamellaires. L'ensemble des lamellaires est inséré dans une calandre où le deuxième fluide s'écoule.

Les limites de fonctionnement de cet échangeur sont de 350 °C en température et 25 bars en pression maximale. Cette technologie d'échangeur est actuellement en pleine mutation



Fig I.8 : Echangeur de chaleur à lamellaires

I.6.3 Echangeur de chaleur à plaques et jointes

Les échangeurs à plaques et joints sont composés de multiples de plaques métalliques séparées par des jointes et serrées les unes contre les autres, après assemblage, des canaux de circulation pour les fluides. Les joints assurent, grâce à leur forme, l'étanchéité périphérique de chaque plaque et autorisent ou interdisent l'écoulement des fluides entre celles-ci.

Les plaques peuvent être lisses ou corrigées (ondulées ou à cannelures en chevrons) pour créer des turbulences et augmenter la surface d'échange afin d'intensifier l'échange de chaleur. Le type de circulation doit être de préférence à contre-courant.

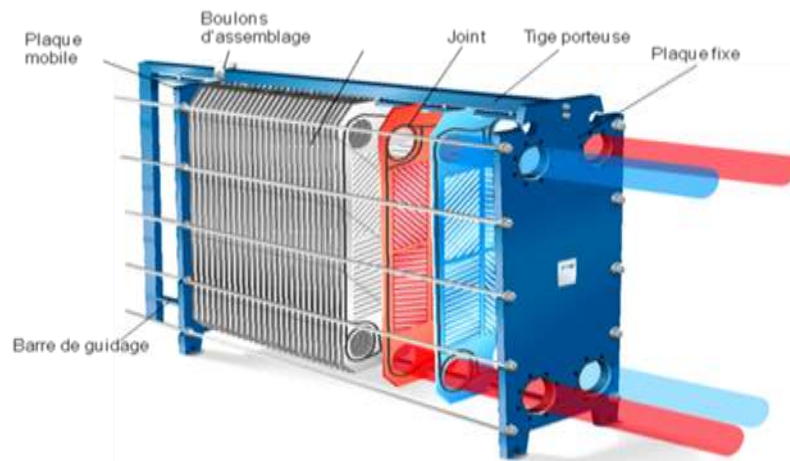


Fig I.9 : Echangeur de chaleur à plaques et jointes

I.6.4 Échangeur de chaleur rotatif

I.6.4.1 Colonne de Bouhy

Excellente alternative aux échangeurs à plaques dans les sècheurs d'air comprimé, la colonne de Bouhy est en fait un échangeur à tête d'épingle auquel a été ajouté un séparateur air/eau centrifuge dans la partie inférieure. Le dispositif dispose de deux échangeurs coaxiaux, le premier servant à amener l'air en dessous de son point de rosée, le second servant à la fois à

ramener l'air à une température convenant à son utilisation et surtout à augmenter l'efficacité du refroidissement. Ce type d'échangeur se caractérise par une très faible perte de charge.

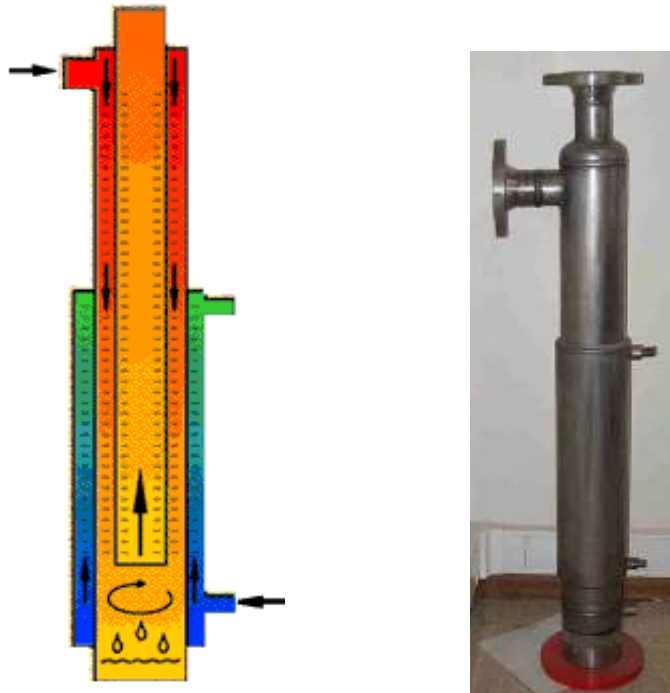


Fig I.10 : Colonne de Bouhy

I.6.4.2 L'échangeur à bloc

L'échangeur à bloc est un type d'échangeur de chaleur réservé à des applications particulières. Il consiste en un bloc d'une matière thermiquement conductrice percé de multiples canaux dans lesquels circulent les 2 fluides. Le bloc est le plus souvent composé de graphite additionné parfois de polymères pour améliorer les propriétés mécaniques de l'échangeur. Le bloc est placé dans une structure qui assure la distribution des liquides dans les canaux.

Le bloc peut avoir différentes formes : cylindrique ou cubique. Il peut encore être composé d'un seul bloc ou de plusieurs parties empilées de manière à permettre les fluides de passer d'une partie à l'autre. L'intérêt de ce type d'échangeur de chaleur est principalement sa résistance chimique aux liquides corrosifs ainsi que sa capacité modulaire : le bloc peut facilement être remplacé en cas de fuites. Le fait que le rapport volume libre pour passage des fluides/volume du bloc est très petit crée une grande inertie dans les cas de changements de température : le bloc agit comme un réservoir et peut lisser les différences de température.

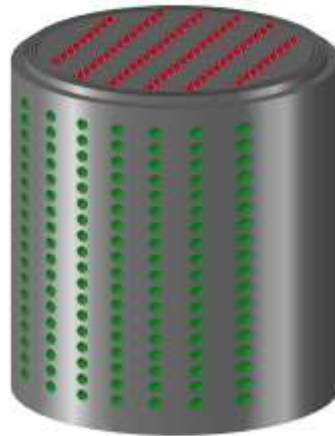


Fig I.11 : L'échangeur à bloc

Les blocs sont cependant fragiles tant aux chocs qu'aux grands écarts de température (problème de dilatation non-uniforme pouvant conduire à des fissurations du bloc). Le prix est relativement élevé par rapport aux autres types d'échangeurs et le transfert de chaleur est en général moyen : l'épaisseur de la paroi d'échange est plus grande que pour une surface d'échange en métal pour cause de fragilité, ce qui augmente la résistance au transfert.

I.6.4.3 Tour de refroidissement

Les tours aéroréfrigérantes ou TAR, aussi appelées tours de refroidissement, sont utilisées pour refroidir un liquide, généralement de l'eau, à l'aide d'un gaz, généralement l'air ambiant. Il s'agit d'un cas particulier d'échangeur de chaleur où le transfert thermique s'effectue par contact direct ou indirect entre les flux. Les tours de refroidissement sont des équipements courants, présents dans des installations de climatisation, ou dans des procédés industriels et énergétiques (centrales électriques, installations de combustion, sucreries, chimie...).



Fig I.12 : Tour de refroidissement

I.6.5 Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire

Un échangeur tubes-calandre (ou échangeur de chaleur coque et tube, ou encore échangeur à tubes et virole) est constitué d'un faisceau de tubes disposé à l'intérieur d'une enveloppe dénommée *calandre*. L'un des fluides circule à l'intérieur des tubes et l'autre à l'intérieur de la calandre, autour des tubes. On ajoute en général des chicanes dans la calandre, qui jouent le rôle de promoteurs de turbulence et améliorent le transfert thermique, ou des ailettes montées sur les tubes pour augmenter la surface d'échange lorsque les fluides en présence ont des coefficients d'échange très différents (échangeurs air / eau par exemple).

À chaque extrémité du faisceau est fixée une boîte de distribution qui assure la circulation du fluide à l'intérieur des tubes en une ou plusieurs passes. La calandre est elle aussi munie de tubulures d'entrée et de sortie pour le second fluide suivant le chemin imposé par les chicanes (voir figure).

Le faisceau de tubes peut être fixé à la calandre (soudé, brasé ou assemblé mécaniquement par dudgeon nage) ou bien flottant. Cette dernière configuration permet un démontage du faisceau de tubes pour la maintenance (nettoyage ou remplacement), mais limite le phénomène de contraintes de dilatation différentielle lorsque de brusques variations de température surviennent [2].

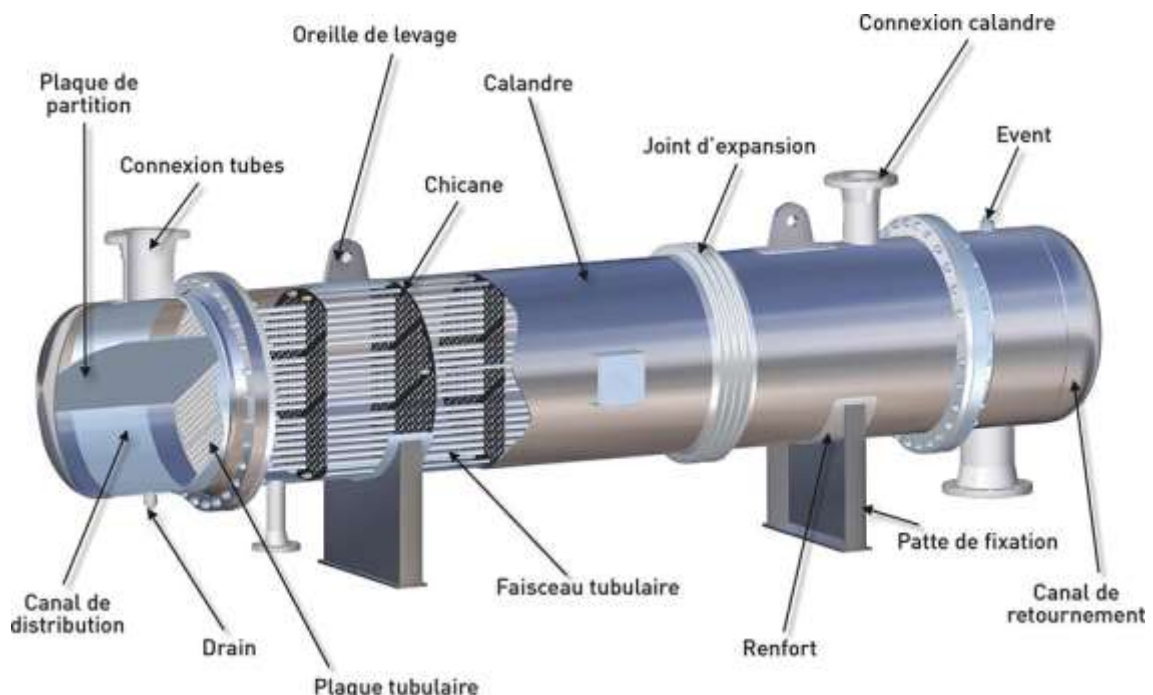


Fig I.13 : Échangeur de chaleur à faisceau tubulaire

I.6.6 Échangeur de chaleur à ailettes

Un échangeur à ailettes est un échangeur relativement simple : il consiste en un conduit cylindrique ou rectangulaire sur lequel sont fixées des lames métalliques de différentes formes. Le fluide de refroidissement est en général l'air ambiant. La chaleur est transférée du fluide chaud circulant dans le conduit principal aux lames métalliques par conduction thermique ; ces lames se refroidissent au contact de l'air.

Les échangeurs de chaleur tubes à ailettes sont généralement utilisés pour refroidir ou chauffer des fluides au moyen de gaz ou l'inverse (l'eau, la saumure, la vapeur saturée, l'huile hydraulique, l'huile lubrifiante, l'huile thermique, les agents réfrigérants qui condensent ou s'évaporent, etc.).

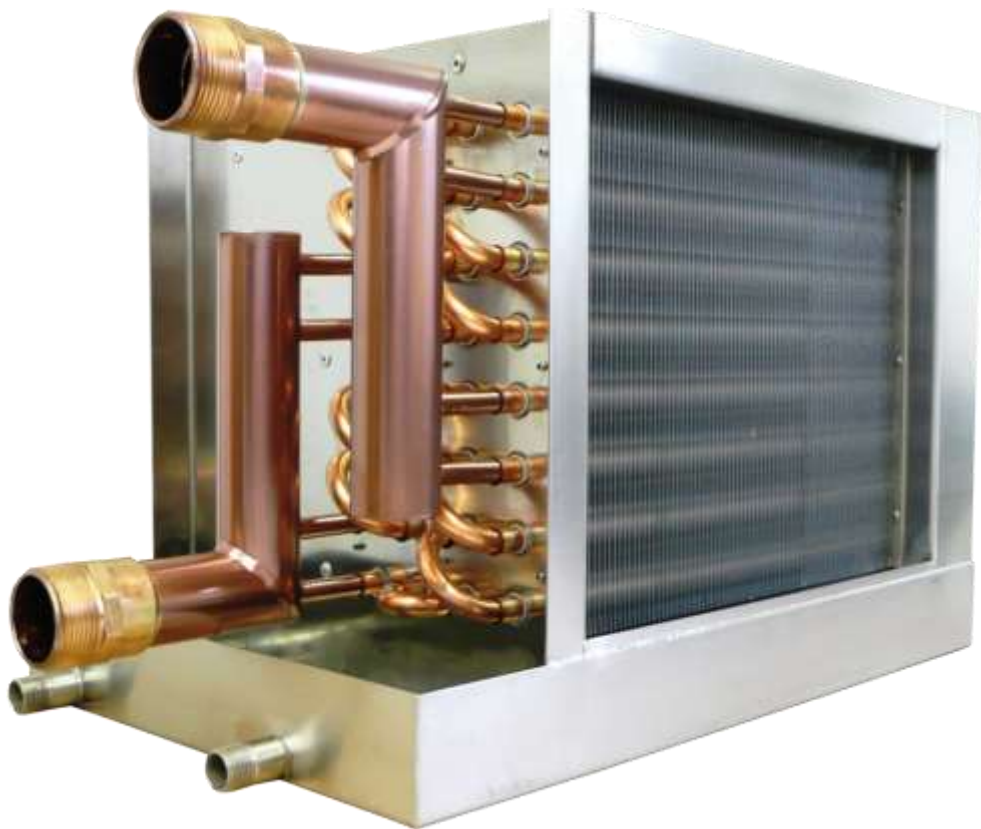


Fig I.14 : Échangeur de chaleur à ailettes

I.7 Conclusion

Il y a clairement Les différents Critères des classements des échangeurs de chaleur, la raison en est que chaque type est unique dans sa conception et son principe de fonctionnement. L'importance industrielle des échangeurs de chaleur, il existe une diversité des différents types des échangeurs de chaleur qui ont de nombreuses applications dans les différents domaines. On s'intéresse dans cette étude aux échangeurs à ailettes qui sont très utilisés pour le refroidissement. Le chapitre suivant explique la réalisation d'échangeur de chaleur en pratique et les échangeurs à ailettes en détails

Chapitre II :
Réalisation des
échangeurs en
pratique et
Echangeur de chaleur
à ailettes

II.1 Introduction

L'industriel moderne dépend de tous les types d'échangeur de chaleur et leur utilisation varie en principe de fonctionnement et de leur conception fabrication, en mentionne l'échangeur de chaleur à ailette qui en dépend dans le refroidissement.

Dans ce chapitre, nous passerons en revue la réalisation d'échangeurs de chaleur en matière civile et domaine industriel. Ainsi nous présenterons également l'échangeur de chaleur à ailette.

II.2 Réalisation des échangeurs chaleur en pratique

Aujourd'hui, le rôle du convertisseur est devenu très important dans la vie, et il existe de nombreuses façons de l'utiliser. Nous en mentionnons deux aspects :

- Applications en matière civile
- Applications dans l'industrie

II.2.1 Applications en matière civile

Un domaine où ils sont très utilisés (en particulier des échangeurs de chaleur à plaques) est les systèmes chauffage urbain où ils constituent l'interface entre le réseau de distribution d'eau chaude ou surchauffée produite par le système de chauffage central et de district l'utilisateur final.

Une autre application est dans les plantes climatisation/conditionnement des locaux ou des véhicules. Ils sont traversés par un réfrigérant (Maintenant, il utilise un composé appartenant à la catégorie des HFC comme R134a) Dans les tubes / plaques et de l'air entre les ailettes. Les réfrigérant échange de la chaleur avec l'air de manière à :

- éliminer la chaleur de l'écoulement d'air qui pénètre dans la chambre ou d'un véhicule pour traiter climatiquement afin d'abaisser sa température et de l'humidité. L'échangeur de chaleur utilisé prend le nom de l'évaporateur, car le fluide frigorigène passe de liquide à vapeur ;

- céder la chaleur extraite de l'air à traiter à l'environnement extérieur afin de redémarrer le cycle thermodynamique. Dans ce cas, nous parlons du condensateur, parce que le fluide frigorigène passe de la vapeur surchauffée à l'état liquide [5].

II.2.2 Applications dans l'industrie

❖ Cycle de Rankine Organique sur gaz de combustion

Une machine à cycle organique de Rankine aussi appelée ORC (pour Organic Rankine Cycle en anglais) est une machine thermodynamique produisant de l'électricité à partir de chaleur (dont chaleur fatale industrielle, ou chaleur renouvelable), en utilisant un cycle thermodynamique de Rankine mettant en œuvre un composé organique comme fluide de travail[6]

- Fonction : Production d'électricité au moyen d'un cycle organique de Rankine. Récupération de la chaleur des gaz de combustion. Valorisation de la chaleur fatale en électricité.

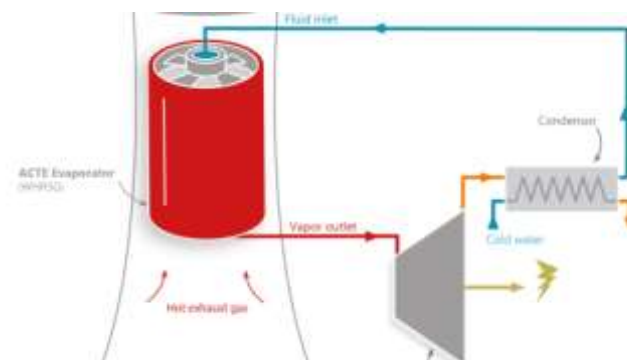


Fig II.1 : schéma d'Organique sur gaz de combustion

❖ Incinération des déchets

- Fonction : L'incinération des déchets est une technique de transformation par l'action du feu. Incinérer signifie « réduire en cendres » ou, dit autrement, qu'on brûle complètement les matières à incinérer¹. C'est une des techniques de gestion des déchets qui peut servir à produire de l'électricité et/ou de la chaleur (chauffage urbain par exemple), mais qui peut être source de pollution de l'air [7].

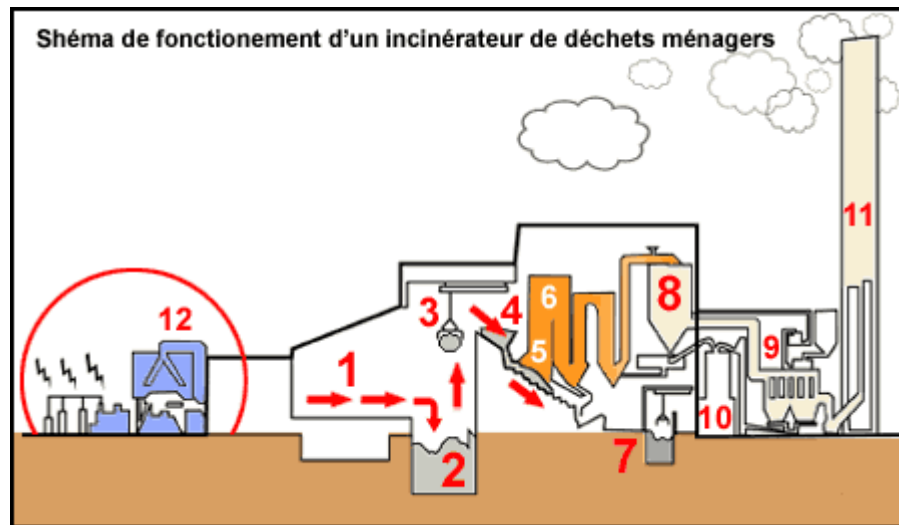


Fig. II.2 : Cycle d'Incinération des déchets

❖ Radiateur de voiture

- Fonction : Le radiateur/ventilateur de votre voiture dissipe la chaleur excédentaire du moteur et fait partie du système de refroidissement. Il permet d'éviter la surchauffe moteur.

La plupart des radiateurs moteurs sont de nos jours fabriqués en aluminium. De fins tuyaux sont placés les uns à côté des autres, en laissant suffisamment d'espace pour que l'air froid puisse passer et refroidir le radiateur [08].

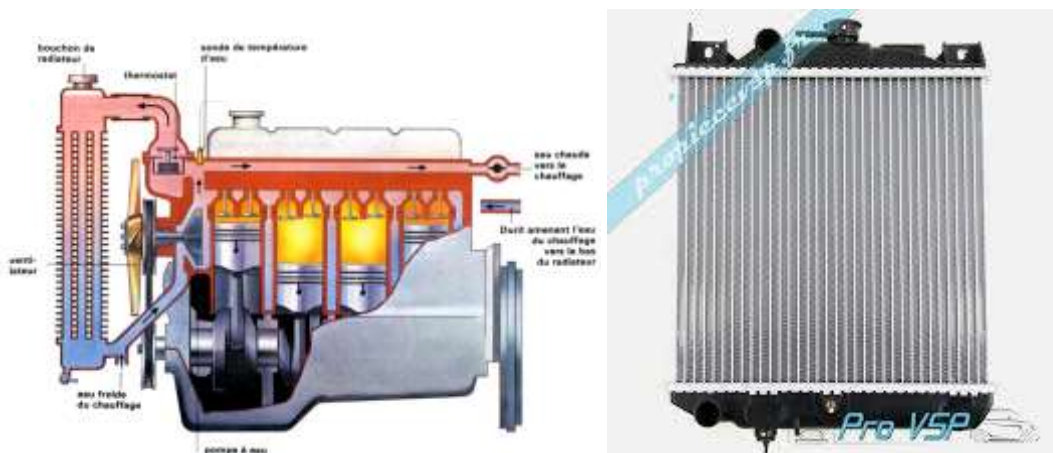


Fig. II.3 : Radiateur de voiture

Echangeur à tubes et ailettes pour augmenter la surface d'échange et donc l'efficacité thermique de l'échangeur. Le plus souvent en aluminium.

❖ Récupération sur air comprimé

- Fonction : Il est possible de récupérer la chaleur sur le circuit de refroidissement, quel que soit le type de fluide dédié à cet effet. La chaleur sera disponible à ce niveau à une température généralement comprise entre 30 °C et 60 °C. Pour un niveau de température supérieure, il est également possible de récupérer l'énergie sur le circuit d'huile du compresseur [09]

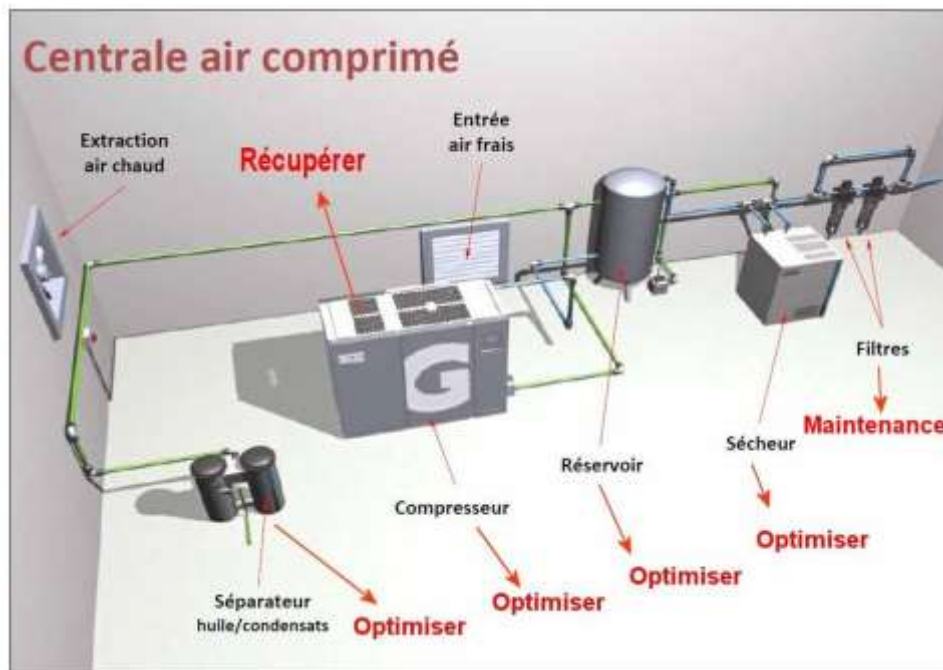


Fig. II.4 : schéma de Récupération sur air comprimé

❖ Chaudière

- Fonction : La chaudière assure le chauffage et/ou l'arrivée d'eau chaude dans votre maison. La donnée qui change réside dans le type de combustible et le fonctionnement de cette dernière pour alimenter le brûleur. Attention, contrairement à la pompe à chaleur air-air, la chaudière ne produit que de la chaleur [10].



Fig. II.5 : Chaudière

❖ Ballon d'eau chaude sanitaire

- Fonction : Le ballon d'eau chaude fonctionne par accumulation, et requiert un certain temps pour une mise en température. Les modèles peuvent être au gaz ou électrique, mais quoi qu'il arrive, les accumulateurs contenus se déclinent en plusieurs versions pour mieux s'adapter à vos besoins, à votre budget et à la configuration de votre habitation.
- [11]

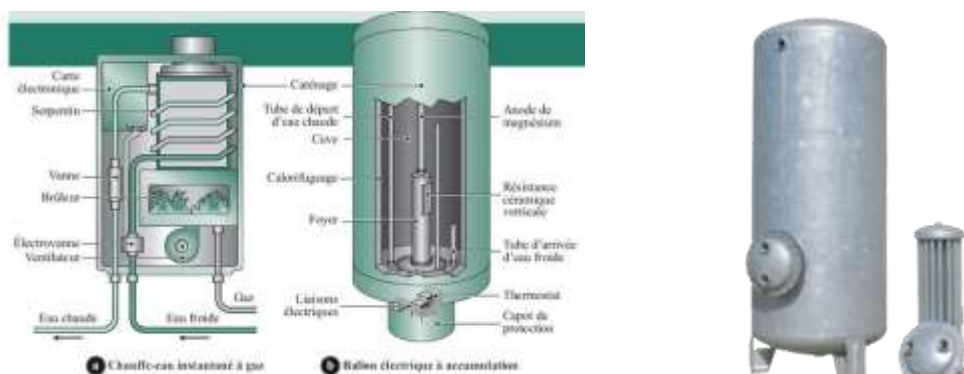


Fig. II.6 : Ballon d'eau chaude sanitaire

Utiliser un échangeur tubulaire et Isolation du ballon pour éviter les pertes à l'ambiance

❖ Ventilation mécanique centralisée avec récupération de chaleur

- Fonction : échange de la chaleur entre l'air vicié (extrait du bâtiment) et l'air frais (pulsé) dans le bâtiment [12]

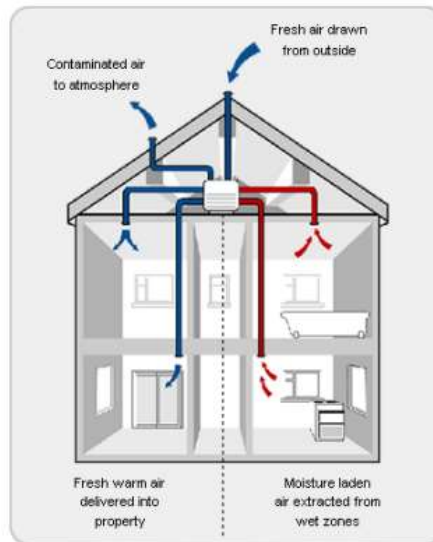
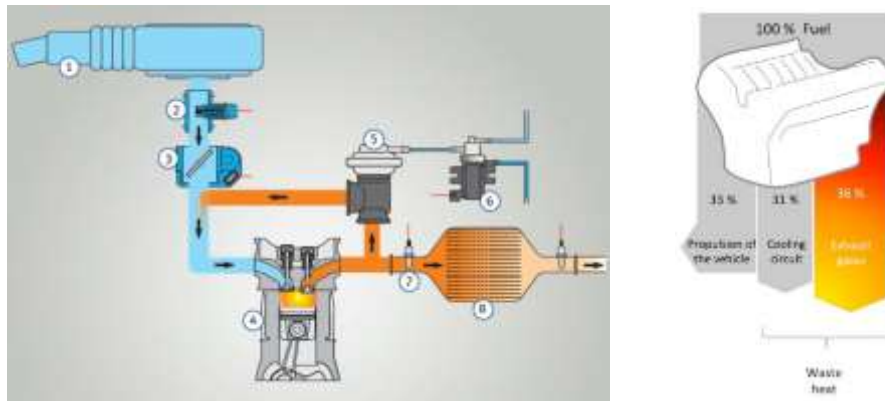


Fig. II.7 : schéma de Ventilation mécanique centralisée avec récupération de chaleur

Différents types de récupération de chaleur (contre-courant, courant croiser, aluminium, polystyrène,...)

❖ Récupération sur gaz d'échappement des véhicules

- Fonction : Grâce à l'apport de gaz d'échappement, le taux d'oxygène dans le mélange air-carburant est abaissé et la température de combustion baisse dans les cylindres. Du fait que l'oxyde d'azote (NOx) nocif est principalement développé à hautes températures et à fortes pressions, la concentration en (NOx) expulsée dans l'air peut être réduite jusqu'à 50% [13]



1. Filtre à air
2. Débitmètre d'air massique
3. Papillon/clapet de réglage
4. Cylindre
5. Vanne de recyclage des gaz EGR (dans ce cas : pneumatique)
6. Convertisseur de pression électropneumatique
7. Sonde lambda (essence)
8. Catalyseur

Fig II.8 : Principe du recyclage des gaz d'échappement (pneumatique) [10]

- Utilisation de la vapeur pour générer soit de l'électricité soit de la puissance mécanique.
- Forte contrainte de poids et d'encombrement
- Tourner le turbo de véhicules

❖ Concentrateur solaire

Un concentrateur solaire est un système de concentration d'énergie solaire. Cette technologie est utilisée dans l'énergie solaire thermique

- Fonction : Son fonctionnement est basé sur l'exploitation de la réflexion des rayons solaires à travers des surfaces réfléchissantes. Il s'agit généralement d'un arrangement de miroirs paraboliques. Le but est de les concentrer dans un récepteur de taille confinée [13].



Fig. II.9 : Concentrateur solaire

- Production de chaleur haute température
- Génération d'électricité dans des zones isolées.

❖ **Economiseur sur gaz d'échappements de moteur de bateaux**

- Fonction : Récupération de chaleur sur gaz d'échappements pour génération de vapeur basse pression (8 bars) [14]

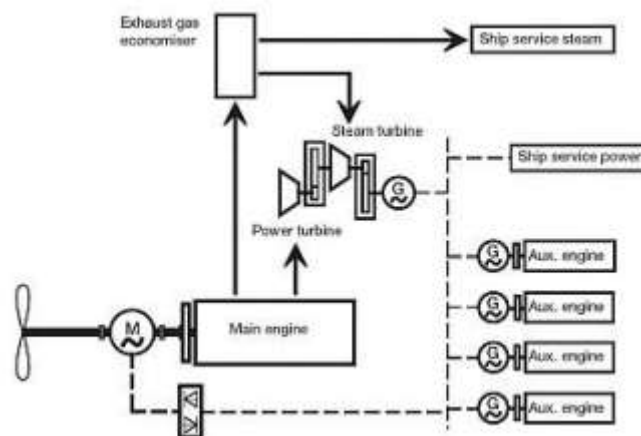


Fig II.10 : schéma d'Economiseur sur gaz d'échappements de moteur de bateaux

- Utilisation de la vapeur pour :
- Chauffer l'huile et le fuel (souvent lourd sur bateau)
- Préchauffage des équipements pendant lancement du moteur

- Génération d'électricité via turbine
- Entraînement des pompes pour remplissage des cuves
- Nettoyage échangeur (suies), coques du bateau

II.3 Echangeur de chaleur à ailettes

II.3.1 Définition

Les échangeurs de chaleur à ailettes sont surtout utilisés pour refroidir et échauffer des liquides au utilisés pour refroidir et échauffer des liquides au moyen de gaz ou inversement. L'eau, la saumure, la vapeur saturée, l'huile hydraulique, l'huile lubrifiante, l'huile thermique, les agents réfrigérants qui condensent ou s'évaporent etc. conviennent comme agents réfrigérants ou chauffants (fig. II.11). Il y a deux types généraux :



Fig. II.11 : échangeurs de chaleur à ailettes

II.3.1.1 Ailettes plain (Batterie à ailettes)

- Fonction : généralement les ailettes et les tubes sont construits avec des matériaux de très bonnes conductivités thermiques (ex : Aluminium). (Fig. II.12) Les ailettes contiennent plusieurs trous par lesquels passent les tubes (circulaire, rectangulaire).



Fig. II.12 : Echangeurs de chaleur tubes à ailettes plain.

II.3.1.2 Ailettes annulaires

- Fonction : généralement Les ailettes annulaires sont uniques pour un seul tube. La forme des ailettes et tubes se diffère selon l'utilisation (circulaire, rectangulaire). (II.13)



Fig II.13 : Différent types des Echangeurs de chaleur tubes à ailettes annulaires.

La construction en ailettes permet de ranger une grande surface extérieure active dans un volume minime. Les différentes séries comprennent des surfaces thermo conductrices de 0.1 à 8000 m².

II.3.2 principe de fonctionnement

Un échangeur à ailettes est un échangeur relativement simple : il consiste en un conduit cylindrique ou rectangulaire sur lequel sont fixées des lames métalliques de différentes formes. Le fluide de refroidissement est en général l'air ambiant. La chaleur est transférée du

fluide chaud circulant dans le conduit principal aux lames métalliques par conduction thermique ; ces lames se refroidissent au contact de l'air. [14]

II.3.3 Domaines d'application

Les échangeurs de chaleur à ailettes conviennent à des utilisations très variées et s'emploient dans les branches les plus diverses de l'industrie, comme par exemple :

- Usines génératrices
- l'industrie mécanique
- l'industrie du papier
- l'industrie chimique
- . Froid Commercial
- la technologie des procédés industriels
- la technologie de l'environnement
- les techniques de chauffage et de ventilation
- Nucléaire

II.3.4 Construction et fonction

Pour l'essentiel, les échangeurs de chaleur à ailettes se composent de tubes carottiers avec des ailettes embouties ou fixées par pression, d'une carcasse et de plusieurs collecteurs ou boîtes déflectrices. La conduite des matériaux peut être adaptée individuellement en fonction des caractéristiques de fonctionnement exigées. Des variations de construction spéciales permettent de compenser également sans difficultés des dilatations thermiques importantes des tubes. Pour les applications avec des exigences très strictes vis-à-vis de la corrosion et de hautes pressions de service (jusqu'à 800 bar), on dispose de combinaisons de matériel spéciales tube/ailettes.

II.3.5 Matériaux de fabrication

Les combinaisons de matériel suivantes sont possibles (matériaux spéciaux sur demande) :
Tubes : cuivre, cupronickel, acier, acier inoxydable
Ailettes : aluminium, cuivre, acier inoxydable
Carcasse : aluminium, acier, acier galvanisé, acier inoxydable

II.3.6 Les type de fabrication

Il en existe de nombreux types, nous mentionnons les plus importants :

❖ Type FLNB

Les refroidisseurs d'huile à air de la série FLNB ont été conçus selon les dernières connaissances de la thermo technique et se composent d'éléments en aluminium avec carcasse/capot et ventilateur. La série standard comprend 12 types avec une puissance de refroidissement de max. 150kW. L'application principale consiste à refroidir de retour l'huile hydraulique, l'huile lubrifiante ou l'huile à engrenages (voir figure).



Fig II.14: Type FLNB

❖ Type LK

Les réfrigérants de retour du type LK sont utilisés la plupart du temps pour dissiper la chaleur excédentaire dans l'air ambiant. Outre des applications dans des circuits hydrauliques comme l'eau, la saumure etc., ce type de construction peut aussi s'utiliser comme condenseur. La série standard comprend 24 types avec des surfaces thermo conductrices de max. 1200 m² (voir figure).



Fig II.15: Type LK

❖ Type LBD

Ce type est utilisé pour échauffer l'air du processus ou le gaz du processus par condensation de vapeur saturée ou de vapeur surchauffée. Selon les exigences, on dispose de différents matériels comme l'acier galvanisé, l'acier inoxydable etc. Des applications à hautes pressions de service (jusqu'à 800 bars) avec les certificats d'épreuve correspondants sont également possibles (voir figure).



Fig II.16: Type LBD

❖ Type LBF

On utilise ce type universel d'échangeur de chaleur à ailettes pour échauffer et refroidir des gaz et des liquides. Différentes combinaisons de matériel allant du cuivre, du cupronickel, du laiton, de l'aluminium, à des types complètement inoxydables pour une haute résistance à la corrosion sont possibles. Les différents éléments peuvent présenter une longueur de construction de 8000mm (voir figure).



Fig II.17: Type LBF

❖ Type LBW

La récupération de la chaleur à partir d'air vicié déjà utilisé prend de plus en plus d'importance. La série LBW est centrée particulièrement sur l'utilisation précieuse de la chaleur perdue. On peut ainsi utiliser même de grands courants d'air vicié à un bas niveau de température (voir figure).



Fig II.18: Type LBW

❖ Type KKG

Les refroidisseurs à haute pression représentent une application spéciale. Lors de la compression de gaz naturels ou de gaz techniques, on atteint des pressions finales pouvant aller jusqu'à 800 bars.

La série KKG permet de réaliser le refroidissement des gaz comprimés simplement et en toute sécurité [15].



Fig II.19: Type KKG

II.4 Présentation d'un exemple d'échangeur de chaleur a ailette

(ET 300 Échangeur de chaleur tube à ailettes eau/air)

II.4.1 Description

Les échangeurs de chaleur à tubes sont souvent utilisés pour chauffer ou refroidir des fluides gazeux ; on peut citer comme exemple le refroidisseur d'air des moteurs à combustion interne. De l'eau chaude circule dans les tubes autour desquels s'écoule un fluide gazeux, comme de l'air froid par exemple. En circulant, le fluide chaud libère une partie de son énergie thermique au fluide froid. [16]

Afin d'augmenter la surface de transfert de chaleur et donc améliorer le transfert de chaleur convectif, les tubes sont munis d'ailettes.

Le banc d'essai ET 300 est utilisé pour réaliser des études quantitatives sur un échangeur de chaleur à ailettes utilisant comme fluides de l'eau chaude et de l'air froid. L'élément central du banc d'essai est un conduit d'air avec ventilateur, dans lequel est installé un échangeur de Chaleur a ailettes.



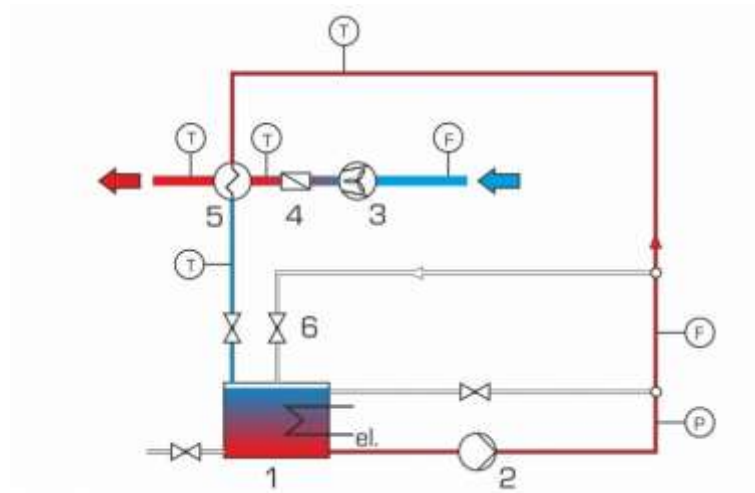
Nomination

1 ventilateur, 2 conduit d'air avec points de mesure de la température, 3 échangeur de chaleur, 4 débitmètre, 5 capteur de pression, 6 réservoir d'eau, 7 pompe, 8 dispositif de chauffage avec thermostat, 9 éléments d'affichage et de commande

Fig II.20 : Échangeur de chaleur ET 300

Un élément d'entrée favorable à l'écoulement et un redresseur situé dans le conduit d'air assurent un écoulement homogène pour la réalisation des essais. Le débit volumétrique est ajusté par une vanne papillon située à la sortie du ventilateur, et mesuré par une tuyère de mesure à l'entrée du ventilateur.

Le banc d'essai dispose d'un circuit d'eau chaude fermé composé des éléments suivants : réservoir d'eau avec dispositif de chauffage, pompe, débit ajustable, capteur de débit électromagnétique et échangeur de chaleur à ailettes. Le débit peut être ajusté par une soupape.



Nomination

1 réservoir d'eau avec dispositif de chauffage, 2 pompe, 3 ventilateur, 4 vanne papillon, 5 échangeur de chaleur, 6 soupapes pour l'ajustage de l'essai (échangeur de chaleur ou caractéristique de la pompe) ; F débit, P pression, T température

Fig. II.21 : Schéma d'Échangeur de chaleur ET 300

Il est possible d'établir des bilans énergétiques en mesurant les températures d'entrée et de sortie, ainsi que les débits. Le capteur de pression se trouvant dans le circuit d'eau permet, en outre, d'enregistrer une caractéristique de pompe. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

II.4.2 Détails techniques

a. Spécification

- échangeur de chaleur à ailettes pour l'étude du transfert de chaleur convectif entre l'eau et l'air
- fonctionnement de l'échangeur de chaleur comme chauffeur d'air ou refroidisseur d'eau
- circuit d'eau chaude fermé avec dispositif de chauffage électrique, thermostat, réservoir d'eau et pompe
- écoulement d'eau et écoulement d'air ajustables
- détermination du débit volumétrique de l'air en se servant de la pression différentielle au niveau de la tuyère de mesure
- affichage numérique des températures, débits et pression
- logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 8.1, 10

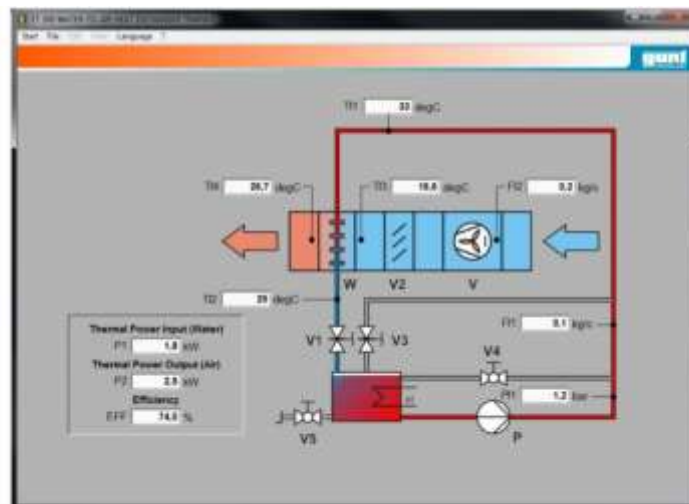


Fig. II.22 : Capture d'écran du logiciel

b. Caractéristiques techniques

❖ Échangeur de chaleur à ailettes

- matériau : Cu/Al
- surface de transfert moyenne : $2,80\text{m}^2$ (côté air)
- puissance : 2kW
- température de l'eau : 70°C

❖ Pompe

- puissance absorbée : 470W
- débit de refoulement max. : $4,2\text{m}^3/\text{h}$
- hauteur de refoulement max. : 20,5m

❖ Ventilateur

- puissance absorbée : 0,25kW
- débit de refoulement max. : 13m³/min
- différentiel de pression max. : 430Pa
- Réservoir d'eau : 28L
- Dispositif de chauffage : 2kW
- Thermostat : max. 80°C

Plages de mesure

- température : 4x 0...100°C
- débit : eau 0...6m³/h
- pression : eau 0...4bar abs.
- débit massique : air 0...250g/s
- 230V, 50Hz, 1 phase
- 230V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 3 phases
- UL/CSA en option

c. Dimensions et poids

- Lxlxh : 1730x800x1900mm
- Poids : env. 220kg

d. Nécessaire pour le fonctionnement

- PC avec Windows recommandé

II.5 Conclusion

Les échangeurs de chaleur tubes à ailettes sont généralement utilisés pour refroidir ou chauffer des plusieurs fluides. Il existe de nombreuse variété dans la matière civile et l'industriel. Dans le chapitre suivant nous essayerons de faire une étude et une analyse d'échangeur de chaleur ailette.

Chapitre III :

Calcul d'échangeur de chaleur a ailette

III.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons appris que l'échangeur de chaleur à ailette est utilisé pour le refroidissement.

On s'intéresse à un échangeur entre un fluide chaud de température d'entrée dans l'échangeur T_e et T_s de sortie et un fluide froid de température d'entrée dans l'échangeur t_e et de sortie t_s , $t_e > t_s$ et $T_s > T_e$

On distingue les cas où l'échange de chaleur est méthodique ou anti-méthodique. En outre, les fluides considérés ont des capacités thermiques différentes.

Echelonnement des températures

L'échange n'est possible que si le fluide cédant sa chaleur est plus chaud que le fluide réchauffé : $T_e > t_e$

Le fluide chaud se refroidit, donc : $T_e > T_s$, $T_e - T_s > 0$

Le fluide froid se réchauffe, donc : $t_s > t_e$, $t_s - t_e > 0$

En additionnant les deux inégalités : $T_e - T_s + t_s - t_e > 0$ d'où $T_e - t_e > T_s - t_s$

Dans le cas d'un échange anti-méthodique on a en outre : $T_s > t_s$ et donc :

$T_e > T_s > t_s > t_e$

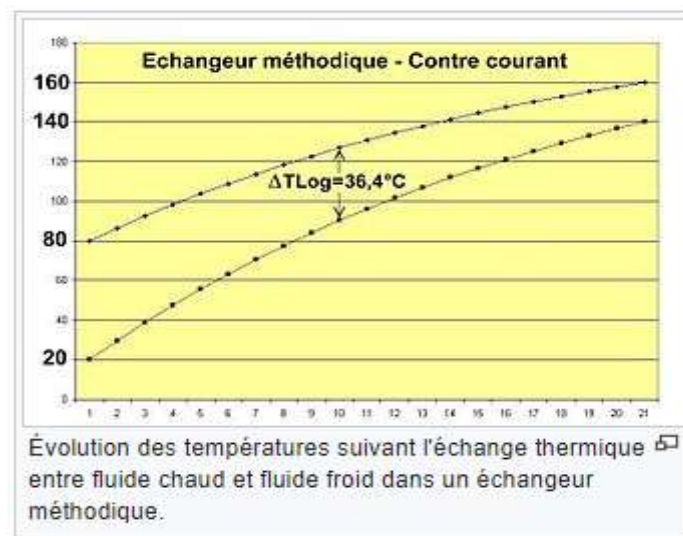


Fig. III.1 schéma Echelonnement des températures

Écart de température logarithmique

On appelle écart de température logarithmique d'un échangeur la quantité, notée

ΔT_{Log} mesurée en degrés Celsius :

Si l'échangeur est méthodique (i.e. à contre-courant) [01] :

$$\Delta T_{\text{Log}} = \frac{(T_e - t_s) - (T_s - t_e)}{\ln\left(\frac{T_e - t_s}{T_s - t_e}\right)}$$

• avec :

- T_e = température d'entrée du fluide chaud.
- T_s = température de sortie du fluide chaud.
- t_e = température d'entrée du fluide froid.
- t_s = température de sortie du fluide froid.

Dans ce chapitre, nous allons calculer les paramètres énergétiques de l'échangeur de chaleur à ailette. Pour faire ce calcul on utilise deux méthodes d'analyses :

- La méthode (NUT)
- La méthode (DTLM).

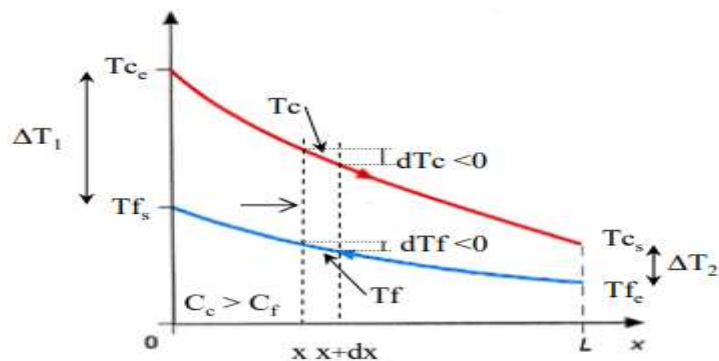
Les paramètres calculons sont :

Les flux du fluide chaud (eau chaude), et fluide froid (eau froide) le coefficient d'échange globale, la différence de température logarithmique moyenne, le nombre d'unité de transfert et l'efficacité.

Dans cette travail faire un calcul de quatre cas, les deux cas premier Le débit massique de l'eau chaude est constant, les deux cas dernier Le débit massique de l'eau froid est constant et calculons les différents paramètres de chacun cas dans tableau.

III.2 Présentation le travail

Un échangeur de chaleur a ailette fonctionne selon un circuit à contre-courant, ou le fluide chaud est l'eau chaude (condensats d'huile), le fluide froid est une eau refroidie provenant par des tours de refroidissements. La figure III.1 représente un diagramme des températures d'un échangeur à contre-courant.



Avec:

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

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

Fig. III.2 Diagramme des températures d'un échangeur à contre-courant.

On définit que :

T_{ce} : Température entrée eau chaude.

T_{cs} : Température de sortie eau chaude

T_{fe} : Température entrée eau froide

T_{fs} : Température de sortie eau froide

Les formules utilisent dans cette calcul sont :

$$C_c = Q_{mc} * C_{pc} \quad (1)$$

$$C_f = Q_{mf} * C_{pf} \quad (2)$$

$$C_r = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (3)$$

$$\Delta T_{ML} = \frac{(T_{cs} - T_{fe}) - (T_{ce} - T_{fs})}{\ln\left(\frac{T_{cs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fs}}\right)} \quad (4)$$

$$\Phi_c = q_{mc} C_{pc} (T_{ce} - T_{cs}) \quad (5)$$

$$\Phi_f = q_{mf} C_{pf} (T_{fs} - T_{fe}) \quad (6)$$

$$K = \frac{\Phi}{S \Delta T_{ML}} \quad (7)$$

$$NUT = \frac{K S}{C_{min}} \quad (8)$$

$$E = \frac{1 - \exp\left[-\frac{K S}{C_{min}} \left(1 - \frac{C_{min}}{C_{max}}\right)\right]}{1 - \frac{C_{min}}{C_{max}} \exp\left[-\frac{K S}{C_{min}} \left(1 - \frac{C_{min}}{C_{max}}\right)\right]} \quad (9)$$

On définit que :

Φ_c : flux de chaleur du fluide chaud

Φ_f : flux de chaleur du fluide froid

K : coefficient d'échange global entre les deux fluides ;

S : Surface d'échange.

q_{mf} : Débit massique d'eau froide ;

q_{mc} : Débit massique d'eau chaude ;

C_{pc} : Chaleur massique de l'eau chaude;

C_{pf} : Chaleur massique de l'eau froide;

III.3 Les étapes de calcul

. Exemple cas n° : 1 : Le débit massique de l'eau chaude est constant :

$$Q_{mc} = 21.43 \text{ (kg /h)} = 0.0059 \text{ (kg /S)}$$

. Exemple cas n° : 2 : Le débit massique de l'eau chaude est constant :

$$Q_{mc} = 25.61 \text{ (kg /h)} = 0.0071 \text{ (kg /S)}$$

. Exemple cas n° : 3 : Le débit massique de l'eau froid est constant :

$$Q_{mf} = 22.16 \text{ (kg /h)} = 0.0061 \text{ (kg /S)}$$

. Exemple cas n° : 4 : Le débit massique de l'eau froid est constant :

$$Q_{mf} = 41.96 \text{ (kg /h)} = 0.011 \text{ (kg /S)}$$

III.4 Faire le calcul

Exemple cas n° : 1 Le débit massique de l'eau chaude est constant :

$$Q_{mc} = 21.43 \text{ (kg /h)} = 0.0059 \text{ (kg /S)}$$

$$C_{pc} = 4174 \text{ J/Kg. } ^\circ\text{C} \quad C_{pf} = 4182 \text{ J/Kg. } ^\circ\text{C} \quad S=20 \text{ m}^2$$

		1	2
Données de base	Débit de l'eau froide Q _{mf} (kg /h)	18.22	20.54
	T _{ce} (°C)	45.94	42.31
	T _{cs} (°C)	35.88	31.12
	T _{fe} (°C)	15.77	12.65
	T _{fs} (°C)	28.43	24.76
	Résultats obtenues	C _c = Q _{mc} * C _{pc}	24.846
C _f = Q _{mf} * C _{pf}		21.165	23.86
C _{min} (W/ °C)		21.165	23.86
C _{max} (W/ °C)		24.846	24.846
Cr		0.851	0.960
DTLM (°C)		18.840	18.400
Φ _c (w)		247.743	275.571
Φ _f (w)		267.956	288.952
K (W/m ² °C)		0.711	0.785
NUT		0.671	0.658
E (%)		73	65

Tableau (III-01) calculé les paramètres énergétiques de l'échangeur de chaleur à ailette.

Exemple cas n° : 2 : Le débit massique de l'eau chaude est constant :

$$Q_{mc} = 25.61 \text{ (kg /h)} = 0.0071 \text{ (kg /S)}$$

$$C_{pc} = 4174 \text{ J/Kg. } ^\circ\text{C}$$

$$C_{pf} = 4182 \text{ J/Kg. } ^\circ\text{C}$$

$$S = 20 \text{ m}^2$$

		1	2
Données de base	Débit de l'eau froide Q _{mf} (kg /h)	40.31	42.74
	T _{ce} (°C)	39.64	40.11
	T _{cs} (°C)	30.78	31.22
	T _{fe} (°C)	18.88	17.08
	T _{fs} (°C)	23.39	25.96
	Résultats obtenues	C _c = Q _{mc} * C _{pc}	29.635
C _f = Q _{mf} * C _{pf}		46.82	49.649
C _{min} (W/ °C)		29.635	29.635
C _{max} (W/ °C)		46.82	49.649
C _r		0.632	0.596
DTLM (°C)		13.962	14.144
Φ _c (w)		262.569	263.458
Φ _f (w)		211.188	440.888
K (W/m ² °C)		0.756	1.558
NUT		0.510	1.051
E (%)		56	62

Tableau (III-02) calculé les paramètres énergétiques de l'échangeur de chaleur à ailette.

Exemple cas n° 3 : Le débit massique de l'eau froid est constant :

$$Q_{mf} = 22.16 \text{ (kg /h)} = 0.0061 \text{ (kg /S)}$$

$$C_{pc} = 4174 \text{ J/Kg. } ^\circ\text{C} \quad C_{pf} = 4182 \text{ J/Kg. } ^\circ\text{C} \quad S = 20 \text{ m}^2$$

		1	2
Données de base	Débit de l'eau chaude Q _{mc} (kg /h)	20.42	21.45
	T _{ce} (°C)	40.19	42.11
	T _{cs} (°C)	31.67	30.21
	T _{fe} (°C)	16.68	13.26
	T _{fs} (°C)	25.44	25.07
	Résultats obtenues	C _c = Q _{mc} * C _{pc}	23.675
C _f = Q _{mf} * C _{pf}		25.510	25.510
C _{min} (W/ °C)		23.675	24.709
C _{max} (W/ °C)		25.510	25.510
C _r		0.928	0.968
DTLM (°C)		15	18
Φ _c (w)		201.718	295.953
Φ _f (w)		223.469	301.275
K (W/m ² °C)		0.744	0.836
NUT		0.628	0.676
E (%)		64	67

Tableau (III-03) : calculé les paramètres énergétiques de l'échangeur de chaleur à ailette.

Exemple cas n° : 4 : Le débit massique de l'eau froid est constant :

$$Q_{mf} = 41.96 \text{ (kg /h)} = 0.011 \text{ (kg /S)}$$

$$C_{pc} = 4174 \text{ J/Kg. } ^\circ\text{C}$$

$$C_{pf} = 4182 \text{ J/Kg. } ^\circ\text{C}$$

$$S = 20 \text{ m}^2$$

		1	2
Données de base	Débit de l'eau chaude Q_{mc} (kg /h)	24.24	25.56
	T_{ce} ($^\circ\text{C}$)	41.65	41.09
	T_{cs} ($^\circ\text{C}$)	30.63	29.85
	T_{fe} ($^\circ\text{C}$)	19.78	17.22
	T_{fs} ($^\circ\text{C}$)	26.49	25.41
	Résultats obtenues	$C_c = Q_{mc} * C_{pc}$	28.104
$C_f = Q_{mf} * C_{pf}$		46.002	46.002
C_{min} (W/ $^\circ\text{C}$)		28.104	29.635
C_{max} (W/ $^\circ\text{C}$)		46.002	46.002
C_r		0.610	0.644
DTLM ($^\circ\text{C}$)		12.904	14.12
Φ_c (w)		309.716	333.101
Φ_f (w)		308.673	376.756
K (W/m ² $^\circ\text{C}$)		1.196	1.334
NUT		0.851	0.900
E (%)		54	56

Tableau (III-04) : calculé les paramètres énergétiques de l'échangeur de chaleur à ailette.

III.5 Commentaire des résultats :

Compte tenu des résultats obtenus dans les tableaux, nous constatons que :

III.5.1 Commentaire Tableau (III-01) présentation : Le débit massique de l'eau chaude est

Constant: $Q_{mc} = 21.43 \text{ (kg /h)} = 0.0059 \text{ (kg /S)}$

En remarque après les résultats des tableaux :

Le DTLM : prend des valeurs différentes selon le débit de l'eau froide en varie.

Le Φ_c et Φ_f : la différence est négligeable, alors la quantité de chaleur cédée par le fluide chaud est presque reçue par le fluide froid.

Le K : prend des valeurs différentes liées aux températures d'entrée et sortie.

Le NUT : prend des valeurs convergentes.

L'efficacité E : prend des valeurs différentes, varie en le débit du fluide froid.

III.5.2 Commentaire Tableau (III-02) présentation : Le débit massique de l'eau chaude

est constant : $Q_{mc} = 25.61 \text{ (kg /h)} = 0.0071 \text{ (kg /S)}$

En remarque après les résultats des tableaux :

Le DTLM : remarque un petit changement.

Le Φ_c et Φ_f : remarque un petit changement.

Le K : remarque des valeurs supérieures à 1, à cause au débit de l'eau chaude.

Le NUT : remarque des valeurs variables, à cause la sortie de la température de l'eau chaude.

L'efficacité E : prend des valeurs différentes, à cause la sortie de la température de l'eau chaude.

III.5.3 Commentaire Tableau (III-03) présentation : Le débit massique de l'eau froid est constant : $Q_{mf} = 22.16 \text{ (kg /h)} = 0.0061 \text{ (kg /S)}$

En remarque après les résultats des tableaux :

Le DTLM : remarque des valeurs variables.

Le Φ_c et Φ_f : remarque des valeurs variables.

Le K : remarque des valeurs différentes.

Le NUT : remarque des valeurs croissent presque égale

L'efficacité E : prend des valeurs presque égales

III.5.4 Commentaire Tableau (III-04) présentation : Le débit massique de l'eau froid est constant : $Q_{mf} = 41.96 \text{ (kg /h)} = 0.011 \text{ (kg /S)}$

En remarque après les résultats des tableaux :

Le DTLM : remarque des valeurs variables.

Le Φ_c et Φ_f : remarque des valeurs variables.

Le K : remarque des valeurs supérieures à 1, à cause au débit de l'eau froid.

Le NUT : remarque des valeurs croissent presque égale

L'efficacité E : prend des valeurs presque égales

CONCLUSION

D'après les résultats obtenus à partir du calcul que nous avons effectué, nous concluons que l'efficacité d'échangeur de chaleur à ailette varie selon des paramètres énergétiques :

Le coefficient d'échange global, l'efficacité et le flux de chaleur du fluide froid.

CONCLUSION

GENERAL

CONCLUSION :

Les échangeurs de chaleur à ailettes sont surtout utilisés pour refroidir et échauffer des liquides au moyen de gaz ou inversement. L'eau, la saumure, la vapeur saturée, l'huile hydraulique, l'huile lubrifiante, l'huile thermique, les agents réfrigérants qui condensent ou s'évaporent, ...etc. conviennent comme agents réfrigérants

Le mode de transfert de chaleur intervenant dans l'échangeur de chaleur est la conduction et la convection, et pour assurer un transfert de chaleur il faut avoir une différence de température entre les deux fluides.

L'objectif de ce travail est de faire un calcul des paramètres énergétiques d'un échangeur de chaleur à ailette.

Cette étude nous a permis de mettre en évidence les paramètres énergétiques de l'échangeur de chaleur à ailette, Pour faire ce calcul on utilise deux méthodes d'analyses :

La méthode de différence de température logarithmique moyenne (DTLM) pour le calcul du coefficient d'échange de chaleur globale.

Et La méthode de nombre d'unité de transfert (NUT) pour déterminer l'efficacité de l'échangeur de chaleur.

Suite aux données les résultats sont calculés selon la fixation du débit de fluide chaud ou froid.

Afin de déterminer les paramètres, tels que le coefficient d'échange global et l'efficacité. On constate que, lorsqu'on fixe le débit du liquide chaud, l'efficacité de l'échangeur diminue, par contre, et si on fixe le débit du liquide froid, l'efficacité augmente.

D'après les résultats obtenus à partir du calcul que nous avons effectué, nous concluons que l'efficacité d'échangeur de chaleur à ailette varie selon des paramètres énergétiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01] Échangeurs de chaleur [archive], sur École nationale supérieure des mines de Paris (consulté le 2 février 2015).
- [02] John R. Thome, Engineering Data Book III. Wolverine Tube Inc. 2004
- [03] Ir. Jacques Michotte - 3j-Consult s.a. "Différents types d'échangeurs de chaleur" Le Réactif
- [04] André BONTEMPS, Alain GARRIGUE, Charles GOUBIER, Jacques HUETZ, Christophe MARVILLET, Pierre MERCIER, Roland VIDIL, « Description des échangeurs », technique de l'ingénieur [B 2 341].
- [05] Mauro Felli, Cours de physique technique (civil et environnemental), Morlacchi Editor, 2004 ISBN 88-89422-14-9
- [06] Cycles organiques de Rankine (ORC) [archive], cours en ligne de Mines Paris Tech
- [07] Rogaume T (2001). Caractérisation expérimentale et modélisation de l'émission de polluants lors de l'incinération des déchets ménagers (Doctoral dissertation, Poitiers) |résumé [archive].
- [08] <https://www.autobutler.fr/wiki/radiateur-ventilateur-de-votre-voiture>
- [09] Rogaume T (2001). Caractérisation expérimentale et modélisation de l'émission de polluants lors de l'incinération des déchets ménagers (Doctoral dissertation, Poitiers) |résumé [archive].
- [10] <https://www.climamaison.com/lexique/chaudiere.htm>
- [11] <https://www.mesdepanneurs.fr/blog/le-ballon-deau-chaude-les-diff%C3%A9rents-mod%C3%A8les-et-leur-fonctionnementhttps://lenergie-solaire.net/energie-solaire-thermique/composants/concentrateur-solaire>
- [12] https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/200367/1/P31_hex_SGSD160413.pdf
- [13] <http://www.recuperationchaleur.fr/aircomprime#:~:text=Pourquoi%20r%C3%A9cup%C3%A9rer%20%3F,rendement%20%C3%A9nerg%C3%A9tique%20de%20ce%20dernier.>
- [14] <https://lenergie-solaire.net/energie-solaire-thermique/composants/concentrateur-solaire>
- [15] <https://ets.ch/fr/index.php/produits/echangeurs-de-chaleur-a-ailettes>
- [16] <https://www.gunt.de/fr/produits/genie-thermique-et-energie/echangeurs-de-chaleur/recuperateurs/echangeur-de-chaleur-tube-a-ailettes-eau-air/061.30000/et300/glct-1:pa-149:ca-96:pr-196>

Résumé

Dans une multitude de procédés industriels, comme dans notre environnement quotidien direct, nous sommes amenés à rencontrer des échangeurs thermiques. Ces organes ont pour rôle de transférer de la chaleur entre deux fluides.

Le but de ce travail est de présenter une étude et calcul des paramètres sur un échangeur de chaleur à ailette, et présentons les différents types des échangeurs de chaleur et l'application en industrielle et mettez en évidence la différence de de conception et de principe de fonctionnement.

Mots clés : Echangeur de chaleur, étude, tube, industrielle, application.

ملخص:

في العديد من العمليات الصناعية، كما في بيئتنا اليومية المباشرة، نواجه مبادلات حرارية. هذه الأعضاء لها دور في نقل الحرارة بين سائلين. الغرض من هذا العمل هو تقديم دراسة وحساب على مبادل حراري ذو زعانف، وتقديم أنواع مختلفة من المبادلات الحرارية والتطبيقات الصناعية وإبراز الاختلاف في التصميم ومبدأ التشغيل.

الكلمات المفتاحية: مبادل حراري، دراسة، أنبوب، الصناعة، التطبيقات

Abstract

In a multitude of industrial processes, as in our direct daily environment, we come across heat exchangers. These organs have the role of transferring heat between two fluids. The purpose of this work is to present a study and calculation parameter on a finned heat exchanger, and present the different types of heat exchangers and industrial application and highlight the difference in design and principle of operation.

Key words: Heat exchanger, study, tube, industrial, application