

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieure et
de la Recherche Scientifique**

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Spécialité : Génie mécanique

Option : mécanique énergétique

Thème:

**Etude de la performance thermique d'un
Récupérateur de chaleur**

Encadreur :

- Meneceur Noureddine

Présenté par :

- Berrehouma Med Salah

- Redouani Hamza

- Chekima khaled

2014/2015

Remerciement

Nos vifs remerciements s'adressent:

A tous nos enseignants de Mécanique énergétique ;

A nos encadreur MENECEUR NOUREDDINE .

A tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à l'élaboration de ce travail.

Chekima khaled, Redouani hamza , Berrehouma Mouhammed Salah.



DEDICACE

C'est avec toute mon affection que

je dédie ce modeste travail :

*A celui qui m'a donné vie et qui m'as apporté sans cesse
son amour, mon père.*

*A Ma très chère mère qui m'a apporté sans cesse amour,
soutien et encouragement ; et qu'elle trouve ici l'expression
de mes vives reconnaissances.*

Mes très chères frères et sœur.

Et dédie spécial a Nine Maroua.

A tout mes amis, et en particulier : Chekima khaled, Redouani hamza

Berrehouma Mouhammed Salah

DEDICACE

C'est avec toute mon affection que

je dédie ce modeste travail :

*A celui qui m'a donné vie et qui m'as apporté sans cesse
son amour, mon père.*

*A Ma très chère mère qui m'a apporté sans cesse amour,
soutien et encouragement ; et qu'elle trouve ici l'expression
de mes vives reconnaissances.*

Mes très chères frères et sœur.

Spéciale pour Imen Imhnt

A tout mes amis, et en particulier : Chekima Khaled, Berrehouma Mouhammed Salah

REDOUANI HAMZA

DEDICACE

C'est avec toute mon affection que

je dédie ce modeste travail :

*A celui qui m'a donné vie et qui m'as apporté sans cesse
son amour, mon père.*

*A Ma très chère mère qui m'a apporté sans cesse amour,
soutien et encouragement ; et qu'elle trouve ici l'expression
de mes vives reconnaissances.*

Mes très chères frères et sœur.

A tout mes amis, et en particulier : Berrehouma Mouhammed Salah

Redouani hamza

Chekima khaled

Résumé :

Le récupérateur de chaleur est un composant secondaire dans les systèmes de climatisation et de préchauffer en hiver l'air neuf extérieur en provoquant un échange de chaleur avec l'air extrait. De la même façon, le récupérateur pré-refroidit l'air neuf en été.

Le récupérateur de chaleur à plaques est constitué d'un grand nombre de fines plaques en aluminium, qui forment d'étroits canaux. Dans la version anti-corrosion, les plaques sont recouvertes d'un mince revêtement de plastique. L'air extrait chaud traverse un canal sur deux tandis que l'air neuf froid traverse les autres, à contre-sens. Ainsi les flux d'air se croisent dans l'échangeur et le transfert de chaleur s'effectue sans qu'ils ne se rencontrent. Le récupérateur de chaleur est modélisé comme un échangeur à courants-croisés avec un fluide non brassé (air extrait) et un fluide brassé (air neuf). Le fluide non brassé est celui dont la veine est divisée en plusieurs canaux parallèles distincts et de faibles sections.

Dans la pratique, les données de caractérisation de l'échangeur sont relatives au fonctionnement sans condensation.

Deux types de fonctionnement du récupérateur de chaleur sont possibles:

- en mode préchauffage, le récupérateur fonctionne comme une batterie froide à air pour l'air extrait,
- en mode pré refroidissement, le composant fonctionne comme une batterie froide pour l'air neuf.

Les deux cas sont traités comme un échangeur sans transfert de masse. Ce travail est subdivisé en deux parties, dans la première partie nous présenterons une synthèse bibliographique sur les différents types des échangeurs de chaleurs, ensuite une présentation d'un modèle thermique d'un échangeur à air-air à courant croisé. La deuxième partie de ce sujet concernant la simulation des phénomènes d'échanges de chaleur au sein de ce récupérateur.

La simulation sera réalisée par le moyen d'un programme écrit en langage Matlab. Ainsi Les résultats obtenus seront discutés et analysés.

Mots clés: échangeur à plaque, récupérateur de chaleur, modélisation, température, contre courant, courant croiser, performance.

Abstract :

Heat recovery is a minor component in air conditioning systems is to preheat the fresh air in winter outside by causing a heat exchange with the exhaust air. Similarly, the pre-cooled fresh air collector in the summer.

The plate heat recuperator consists of a large number of thin plates of aluminum, which form narrow channels. In the anti-corrosion version the plates are covered with a thin plastic coating. The warm extract air passes through a channel on two while the new cold air through the other, against the grain. And the airflow passing in the heat exchanger and the heat transfer is affected without they meet. The heat recovery exchanger is modeled as cross-currents with a non-brewed fluid (air) and stirred fluid (fresh air). Non brewed fluid is one whose vein is divided into separate parallel channels and low sections.

In practice, the exchanger characterization data is on operation without condensation.

Two types of operation of heat recovery are possible:

- Warm-up mode, the collector operates as a cooling coil air for exhaust air,
- Pre cooling mode, the device operates as a cold battery looks new.

Both cases are treated as a mass transfer without exchanger. This work is divided into two parts, the first part we present a literature review on the different types of heat exchangers, then presentation of a thermal model of a cross-flow air-to-air heat exchanger. The second part of this subject for the simulation of phenomena of heat exchanges in this recovery.

The simulation will be carried out by means of a program written in Matlab language. Thus the results will be discussed and analyzed.

Key words: plate exchanger, heat recovery, modeling, temperature, against the current, cross current performance.

Nomenclature

T_{ce} : Température chaude d'entrée	[K]
T_{cs} : Température chaude de sortie	[K]
T_{fe} : Température froid d'entrée	[K]
T_{fs} : Température froid de sortie	[K]
T_{ane} : Température d'air neuf d'entrée	[K]
T_{ans} : Température d'air neuf de sortie	[K]
T_{aee} : Température d'air extrait d'entrée	[K]
T_{ace} : Température air chaude d'entrée	[K]
\dot{m}_c : le débit massique chaude	[Kg/s]
\dot{m}_f : le débit massique froid	[Kg/s]
ϵ : l'efficacité en température de l'échangeur	
F : la facteur correctif	
\dot{Q} : la puissance s'exprime	[W]
T_{lm} : différence moyenne logarithmique	
U : la coefficient globale	[w/k m ²]
A : la surface d'échangeur	[m ²]
ϵ_s : l'efficacité sensible	

Introduction générale	01
------------------------------	----

Chapitre I : Généralités sur les échangeurs de chaleur

I.1. Introduction	02
I.2. Historique des changements de chaleur	02
I.3. Le principe de fonctionnement d'un échangeur de chaleur	03
I.4. Classification des échangeurs de chaleur	04
I.4.1 Classement technologique	04
I.4.2 Classement suivant le mode de transfert de chaleur	04
I.4.3 Classement suivant le procédé de transfert de chaleur	04
I.4.4 Classement fonctionnel	04
I.4.5 Classement suivant la compacité de l'échangeur	05
I.4.6 Classement suivant le matériau de la paroi d'échange	05
I.4.7 Classification suivant le type de constructeur	05
I.5. Types de contact	07
I.5.1. Echangeurs à contact direct	07
I.6. Différents types d'échange	08
I.6.1 Echange sans changement de phase	08
I.6.2 Echange avec changement de phase	08
I.7. Distribution des températures	09
I.8. Domaine d'utilisation	09
a)- échangeurs tubulaires	09
b)- Les échangeurs à plaques	10
I.9 Conclusion	11

Chapitre II : Mode de récupération d'énergie

II.1. Introduction	12
II.2. Domaine technologique	12
II.3. Description mathématique	13
II.3.1 Caractérisation de l'échangeur : (module PREPROCR)	14
II.3.1.1 Détermination du coefficient d'échange global enthalpique UA	14
II.3.1.2 Détermination des coefficients d'échange côté air extrait et air neuf	14
II.3.2 Calcul des performances de l'échangeur (HRESIMOL)	15
II.4. Evolution de l'air dans un récupérateur	15
II.4.1 BILANS	15
II.4.1.1 Bilan enthalpique	15
II.4.1.2 Efficacité	15
II.4.2 Evolution de l'air dans un récupérateur de chaleur	16
II.4.2.1 En hiver	16
II.4.2.2 En été	17
II.5 Les différentes technologies	17

Sommaire

II.5.1 Echangeur a plaques	17
II.5.2 Caloduc	19
II.5.3 Récupérateur a deux batteries	21
II.5.4 Echangeur rotatif	23
II.6 Conclusion	24
Chapitre III : Calcul des performances d'un récupérateur de chaleur à plaque	
III.1.Introduction	25
III.2 Récupérateur de chaleur	25
III.3 Les donné de départ	25
III.3.1 les entrées de programme	25
III.3.2 les sorties de programme	27
III.4 Discisions des résultats	28
III.4.1 Effet de sur la température d'entre de l'air neuf sur la puissance échangé sur le récupérateur	28
III.4.2 Effet la température d'entre de l'air neuf sur de la température de sotie de l'air extrait	29
III.4.3 Effet la température d'entre de l'air neuf sur la température de sortie de l'air extrait	30
III.4.4 Effet débit spécifique d'air neuf sur la puissance échangé sur le récupérateur	31
III.4.5 Effet débit spécifique d'air neuf sur la température de sotie de l'air neuf	32
III.4.6 Effet débit spécifique d'air neuf sur la température de sortie de l'air extrait	33
III.5 Conclusion	34
Conclusion générale	35

Introduction générale

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

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

La transmission de chaleur dans l'appareil est réalisée par:

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

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

Les processus de transfert présentent une réciprocity : convection (1), conduction (paroi), convection (2). Le flux de chaleur échangé s'exprime par le produit d'une conductance globale constante ou non le long de l'échangeur, et de la différence entre les températures moyennes des fluides.

Notre mémoire est structuré comme suit : Dans une première partie nous procédons à une étude générale sur les différents types des échangeurs de chaleur et leurs classifications. Un deuxième chapitre est réservé à la description détaillée sur les modes de récupération d'énergies.

Un troisième chapitre englobe les résultats de simulation qui seront interprétés par la suite.

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

**Généralités
sur les
échangeurs de
chaleur**

I.1 Introduction

Dans les sociétés industrielles, l'échangeur de chaleur (figure I.1), est un élément essentiel de toute politique de maîtrise de l'énergie. Une grande part (90 %) de l'énergie thermique utilisée dans les procédés industriels transite au moins une fois par un échangeur de chaleur, aussi bien dans les procédés eux-mêmes que dans les systèmes de récupération de l'énergie thermique de ces procédés.

On les utilise principalement dans les secteurs de l'industrie (chimie, pétrochimie, sidérurgie, agroalimentaire, production d'énergie, etc.), du transport (automobile, aéronautique), mais aussi dans le secteur résidentiel et tertiaire (chauffage, climatisation, etc.). Le choix d'un échangeur de chaleur, pour une application donnée, dépend de nombreux paramètres : domaine de température et de pression des fluides, propriétés physiques et agressivité de ces fluides, maintenance et encombrement. Il est évident que le fait de disposer d'un échangeur bien adapté, bien dimensionné, bien réalisé et bien utilisé permet un gain de rendement et d'énergie des procédés.



Figure I.1 : *Echangeur de chaleur.*

I.2 Historique des changements de chaleur

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

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

simultanément soumises à un débit variable. En 1997 une formulation générale de la méthode de deux paramètres est exposée par **Lachi** et autres. [8] quand un changement soudain des températures ou des débits est imposé aux deux entrées d'un échangeur à double tube.

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

Azilinon et autres en 1990 [9] ont développé une méthode pour déterminer l'efficacité moyenne des échangeurs de chaleur quand l'un des fluides est soumis à n'importe quel type d'effet thermique à l'entrée. **Mai** et autres. en 1999 [10], ont réalisé une étude de l'efficacité moyenne des échangeurs de chaleur soumis à toutes sortes de variation des débits, en introduisant les connaissances de base des efficacités moyennes sur le coté froid et le coté chaud de l'échangeur de chaleur.

I.3 Le principe de fonctionnement d'un échangeur de chaleur

Le principe le plus général consiste à faire circuler deux fluides à travers des conduits qui les mettent en contact thermique. D'une manière générale, 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. On a en général un fluide chaud qui cède de la chaleur à un fluide froid. En d'autres termes, le fluide chaud se refroidit au contact du fluide froid et le fluide froid se réchauffe au contact du fluide froid. Les deux fluides échangent de la chaleur à travers la paroi d'où le nom de l'appareil. On le voit, le principe général est simple mais il donne lieu à un grand nombre de réalisations différentes par la configuration géométrique.

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

On vient de le dire, 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.

Ce dernier paramètre dépend fortement de la configuration des écoulements et une étude précise doit faire appel à la mécanique des fluides. [1]

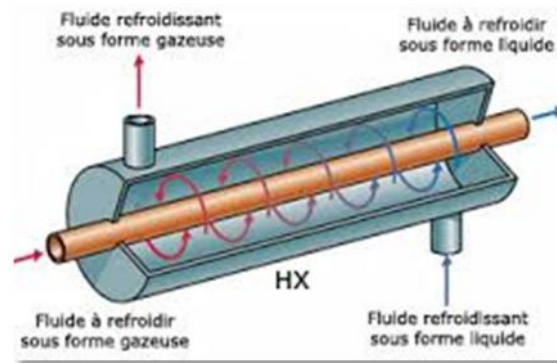


Figure I.2: deux fluides circulés à travers des conduits à l'intérieur d'un échangeur de chaleur.

I.4 Classification des échangeurs de chaleur

Il existe plusieurs critères de classement des différents types d'échangeurs. On cite les plus importants [2] :

I.4.1 Classement technologique:

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

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

I.4.2 Classement suivant le mode de transfert de chaleur:

Les trois modes de transfert de chaleur (conduction, convection, rayonnement) sont couplés dans la plupart des applications (chambre de combustion, récupération sur les fumées, etc.) ; il y a souvent un mode de transfert prédominant. Pour tout échangeur avec transfert de chaleur à travers une paroi, la conduction intervient. [2]

I.4.3 Classement suivant le procédé de transfert de chaleur:

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

- Transfert sans stockage, donc en récupérateur, avec 2 ou n passages et un écoulement en général continu ;
- Transfert avec stockage, donc en régénérateur, avec un seul passage et un écoulement intermittent, la matrice de stockage étant statique ou dynamique. [2]

I.4.4 Classement fonctionnel

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

- Les deux fluides ont un écoulement monophasique ;

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

I.4.5 Classement suivant la compacité de l'échangeur

La compacité est définie par le rapport de l'aire de la surface d'échange au volume de l'échangeur (R.K. Shah propose qu'un changeur 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 $800 \text{ m}^2/\text{m}^3$). [2]

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

On retiendra deux types de paroi :

- Les échangeurs métalliques en acier, cuivre, aluminium ou matériaux spéciaux : superalliages, métaux ou alliages réfractaires ;
- Les échangeurs non métalliques en plastique, céramique, graphite, verre, etc. [2]

I.4.7 Classification suivant le type de constructeur (Voir la figure (I.3).)

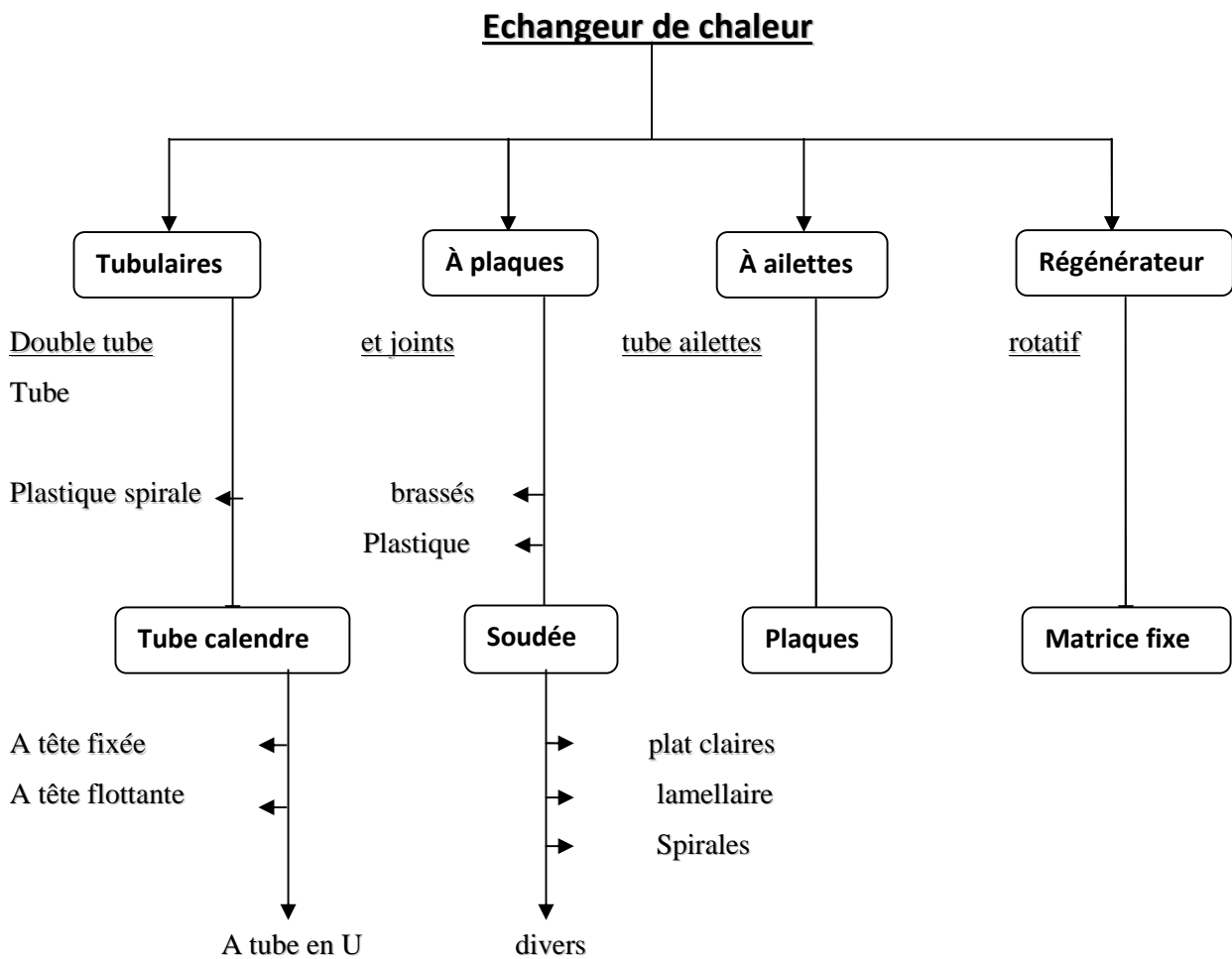


Figure I.3 : Classification suivant le type de constructeur [3].

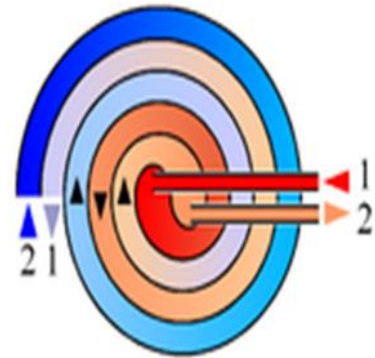
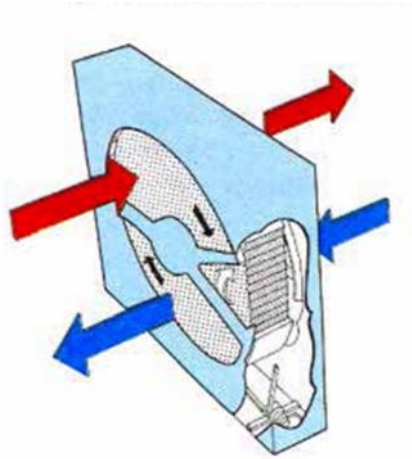


Figure 1.4.a : éclatée d'un échangeur

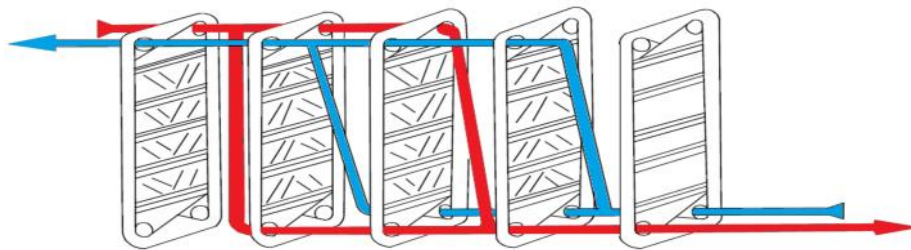


Figure I.4.b : échangeur a plaque [6]

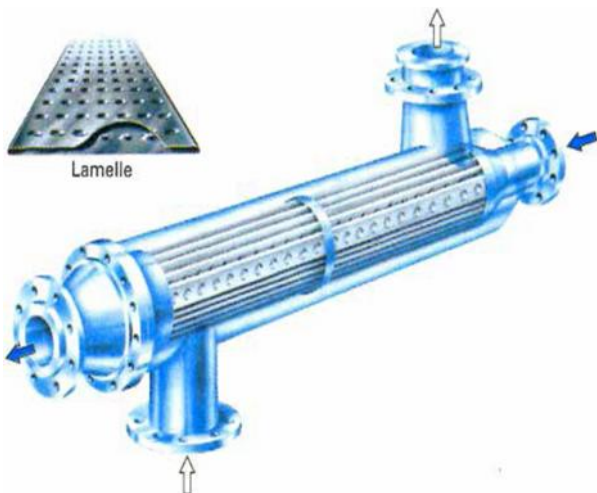


Figure I.4.c : Échangeur lamellaire [1]
calandre

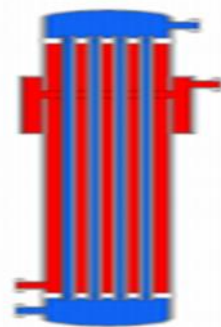


Figure I.4.d : Echangeur à tubes et calandre

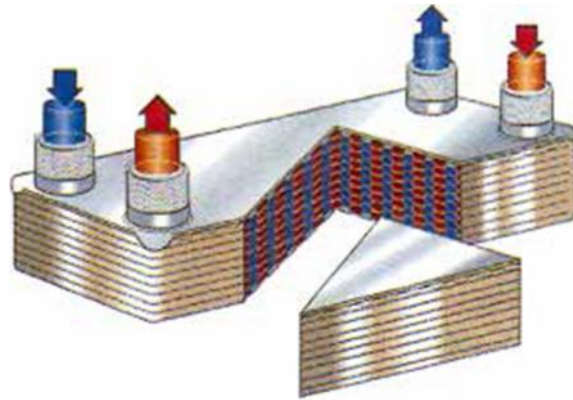


Figure I.4.e : Échangeur brasé [1].

I.5 Types de contact

I.5.1 Echangeurs 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. (voir figure I.5).

Exemple:

- Les réchauffeurs d'eau (injection de vapeur d'eau sous pression).
- Les dés réchauffeurs industriels et les condenseurs à injection (centrale thermique). [1]

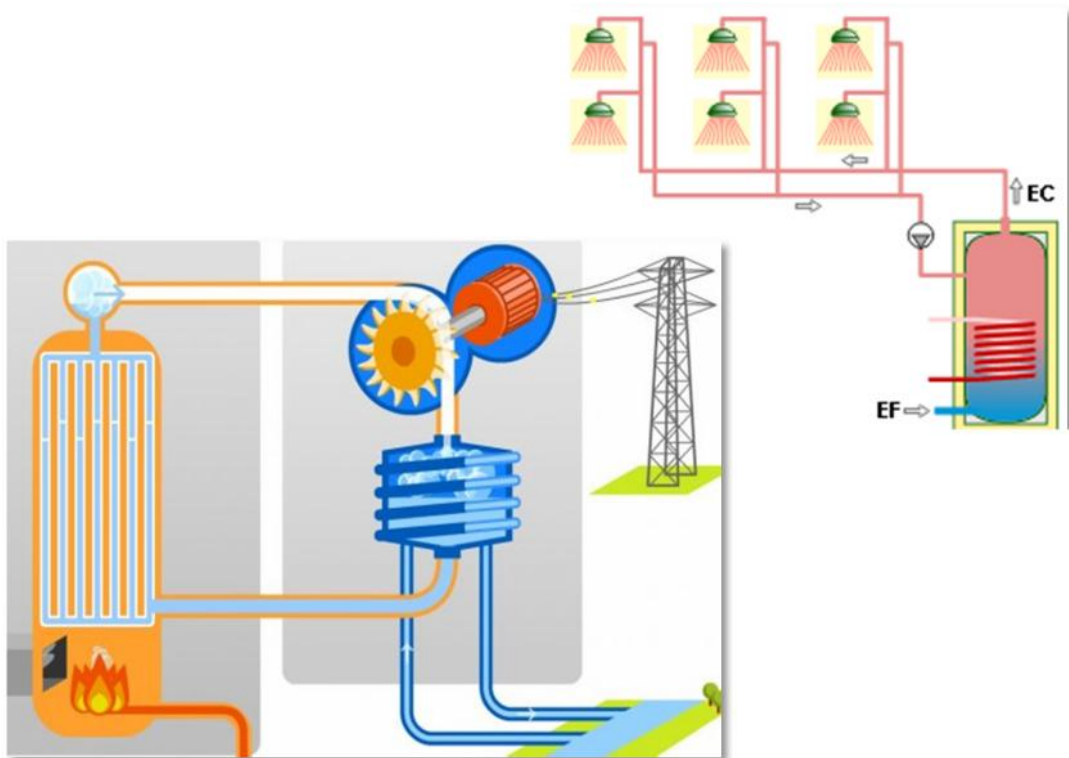


Figure I.5 : Exemple d'utilisation d'un échangeur à contact direct.

I.6 Différents types d'échange

Les échangeurs de chaleur sont diphasiques ou monophasiques.

I.6.1 Echange sans changement de phase

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

Parmi ces échangeurs on cite les échangeurs : (liquide-liquide, gaz-liquide et gaz -gaz...) [3]

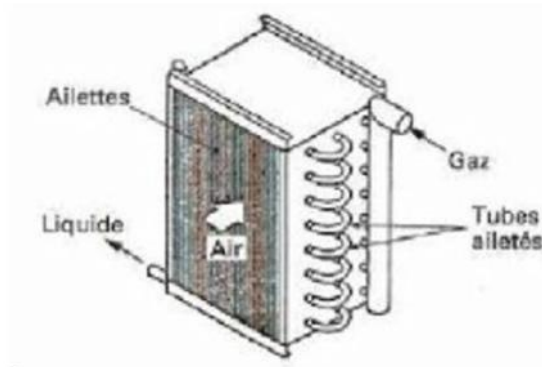


Figure I.6 : Echange sans changement de phase.

I.6.2 Echange avec changement de phase

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

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

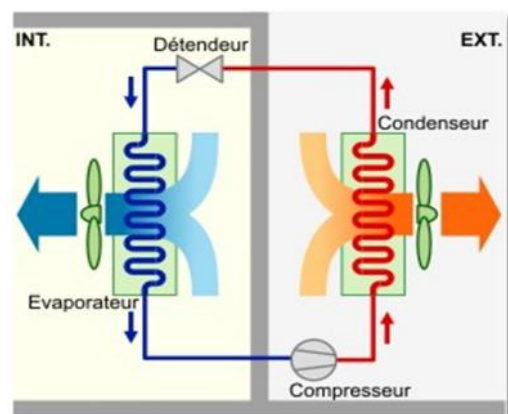


Figure I.7 : Echange avec changement de phase.

I.7 Distribution des températures

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

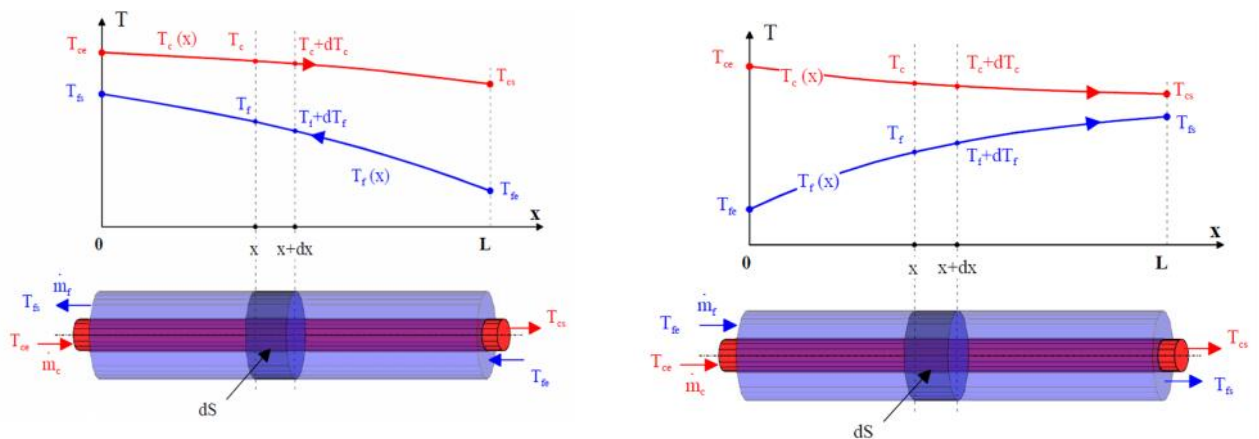


Figure I.8 : Distribution des températures dans des échangeurs à un seul passage (Type double tube).

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

I.8 Domaine d'utilisation

a)- échangeurs tubulaires

L'un des modèles les plus simple d'échangeur que l'on puisse imaginer est constitué de deux tubes coaxiaux. L'un des fluides s'écoule dans le tube central et l'autre dans l'espace annulaire. Les deux fluides peuvent circuler dans le même sens ou en sens contraire. Il est difficile d'obtenir des surfaces d'échange importantes avec cette configuration, même en soudant les tubes, sans aboutir à des appareils très encombrants. Aussi préfère-t-on disposer un faisceau de tubes dans une enveloppe unique, généralement cylindrique appelé *calandre*, l'un des fluides circulant dans les tubes et l'autre à l'intérieur de la calandre autour des tubes. Dans ce genre d'échangeur, des chicanes de formes variées disposées surtout perpendiculairement à l'axe de la calandre rendent le parcours du fluide qui la traverse plus long et sinueux, elles favorisent la turbulence, ce qui a pour effet d'améliorer les

échanges (mais aussi malheureusement d'augmenter les pertes de charge). Ce genre de disposition est la plus utilisée pour les échangeurs liquide -liquide .la compacité maximum (surface d'échange par mètre cube) obtenue avec cette configuration est de l'ordre de $500\text{m}^2/\text{m}^3$ [2].

b)- Les échangeurs à plaques

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

Les échangeurs à plaques se présentent sous diverses formes :

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

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

I.9 Conclusion

Vu 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 récupérateurs de chaleur qui sont très utilisés dans le domaine géothermique. Le chapitre suivant explique ces échangeurs en détails.

**Mode de
récupération
d'énergie**

II.1 Introduction

La réglementation sanitaire impose l'introduction d'un minimum d'air neuf dans les locaux ce qui implique le rejet d'air se trouvant proche des conditions de l'ambiance (entre 18 et 30 [°C] et 50% d'hygrométrie relative en toute saison).

Afin d'éviter de gaspiller de l'énergie, on met en place un récupérateur de chaleur sur l'air extrait afin d'amener l'air neuf aux conditions désirées (ou du moins de l'en rapprocher). Un récupérateur de chaleur est donc un échangeur qui permet de transférer la chaleur et éventuellement l'humidité entre l'air rejeté et l'air neuf:

- En été le transfert se fait de l'air neuf vers l'air rejeté.
- En hiver de l'air rejeté vers l'air neuf.

On réduit ainsi les dépenses énergétiques nécessaires pour préparer l'air aux conditions de soufflage.

II.2 Domaine technologique

Le module de calcul détermine les performances d'un récupérateur de chaleur à plaques. L'objectif de ce composant secondaire des systèmes de climatisation est de préchauffer en hiver l'air neuf extérieurs en provoquant un échange de chaleur avec l'air extrait. De la même façon, le récupérateur pré-refroidit l'air neuf en été.

Le récupérateur de chaleur à plaques est constitué d'un grand nombre de fines plaques en aluminium, qui forment d'étroits canaux. Dans la version anti-corrosion, les plaques sont recouvertes d'un mince revêtement de plastique. L'air extrait chaud traverse un canal sur deux tandis que l'air neuf froid traverse les autres, à contre-sens. Ainsi les flux d'air se croisent dans l'échangeur et le transfert de chaleur s'effectue sans qu'ils ne se rencontrent. Des entretoises métalliques embouties ont été placées entre les plaques dans le but d'assurer un transfert efficace de la chaleur et d'empêcher celles-ci de se plier les unes contre les autres lorsqu'il y a une grande différence de pression entre l'air neuf et l'air extrait.

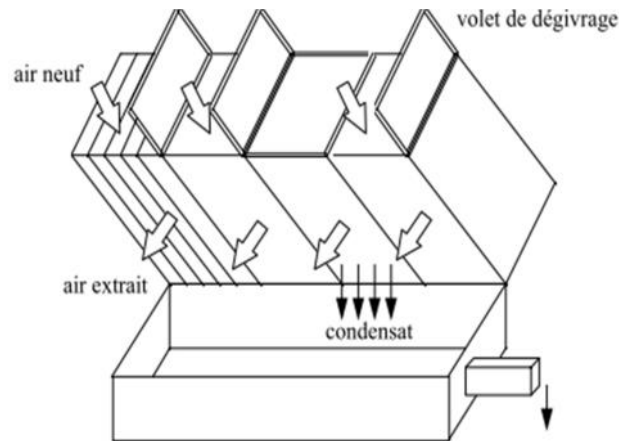


Figure II.1 : Récupérateur de chaleur air-air à plaques.

C'est essentiellement un transfert de chaleur sensible qui se produit. Lorsque la température extérieure est basse, en mode préchauffage de l'air neuf, la vapeur d'eau contenue dans l'air extrait se condense sur les plaques. Ceci a également pour effet de libérer de la chaleur de condensation qui est transmise à l'air neuf. Lorsque la température extérieure est très basse ($-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ selon le constructeur), il y a formation de givre sur les plaques côté air extrait. On doit effectuer un dégivrage pour permettre un bon fonctionnement du récupérateur de chaleur à plaques. La fonction de dégivrage est activée lorsque la température extérieure descend en-dessous d'une valeur de consigne, généralement fixée à $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ extérieur. Le registre de fermeture-dégivrage comporte un certain nombre de volets commandés séparément, placés côté air-neuf, en amont du récupérateur de chaleur. Pendant le cycle de dégivrage, les volets se ferment chacun leur tour et restent fermés de 10 à 15 minutes toutes les heures. Le dégivrage du récupérateur de chaleur à plaques s'effectue de cette façon, au rythme d'une largeur de volet à la fois. Seule une faible partie du récupérateur de chaleur étant ainsi bloquée, le débit d'air neuf ne diminue que de 10 % au maximum, pendant le temps réel de dégivrage. Les 10 % sont valables pour une pression totale de 700 Pa. Pour une pression totale plus élevée, la diminution du débit d'air sera inférieure.

II.3 description mathématique

Le récupérateur de chaleur est modélisé comme un échangeur à courants-croisés avec un fluide non brassé (air extrait) et un fluide brassé (air neuf). Le fluide non brassé est celui dont la veine est divisée en plusieurs canaux parallèles distincts et de faibles sections. Le non-brassage des fluides engendre des gradients de température et d'humidité dans une section perpendiculaire à l'écoulement du fluide.

Dans la pratique, les données de caractérisation de l'échangeur sont relatives au fonctionnement sans condensation. Cette condensation ne peut apparaître côté air extrait que dans le fonctionnement en préchauffage lorsque la température extérieure est suffisamment

basse. Ainsi, nous considérerons le fonctionnement du récupérateur de chaleur sans condensation. Deux types de fonctionnement du récupérateur de chaleur sont possibles:

- En mode préchauffage, le récupérateur fonctionne comme une batterie froide à air pour l'air extrait,
 - En mode pré refroidissement, le composant fonctionne comme une batterie froide pour l'air neuf.
- Les deux cas sont traités comme un échangeur sans transfert de masse.

II.3.1 Caractérisation de l'échangeur

La détermination des caractéristiques du récupérateur est effectuée à partir du point de fonctionnement nominal de l'échangeur. L'échangeur est caractérisé par une efficacité exprimée en température.

L'efficacité en température de l'échangeur est définie par:

$$\varepsilon = \frac{T_{ans} - T_{ane}}{T_{aee} - T_{ane}} \quad (II.1)$$

II.3.1.1 Détermination du coefficient d'échange global enthalpique UA

L'utilisation de la méthode T_{lm} développée pour des échangeurs à courants parallèles pour la détermination du coefficient d'échange global nécessite l'introduction d'un facteur correctif F afin de prendre en compte la configuration en courants-croisés.

Pour une configuration courants-croisés à une seule passe avec un fluide brassé et l'autre non brassé, [BOWMAN, 1940] propose l'expression suivante, issue d'un calcul analytique :

$$r = \frac{q}{\ln \frac{1}{1 - \frac{q}{p} \ln \frac{1}{1 - p}}} \quad (II.2)$$

$$\text{avec } p = \frac{T_{ane} - T_{ans}}{T_{ane} - T_{ace}} ; \quad q = \frac{T_{acs} - T_{ace}}{T_{ane} - T_{ace}} ; \quad r_0 = \frac{p - q}{\ln \frac{1 - q}{1 - p}} ; \quad F = \frac{r}{r_0} \quad (II.3)$$

r_0 est la caractéristique de l'échangeur à contre-courants, et F celle du courants-croisés. La puissance s'exprime alors sous la forme :

$$\dot{Q} = UA F \Delta T_{lm} \quad (II.4)$$

T_{lm} est l'expression de la différence moyenne logarithmique pour un échangeur à contre-courants.

II.3.1.2 Détermination des coefficients d'échange côté air extrait et air neuf

En ce qui concerne les échangeurs à plaques, la corrélation permettant de déterminer le coefficient d'échange en fonction des débits est exprimée ci-dessous avec le coefficient "a" caractéristique de l'échange (corrélation pour plaques planes). Cette corrélation est la même côté air extrait et air neuf. Nous faisons l'hypothèse que la caractéristique a est la même des deux côtés de l'échange (même état de surface, mêmes valeurs des propriétés thermo-physiques de l'air). Chaque coefficient d'échange dépend alors de la vitesse de l'air.

$$UA_a = aV_a^{0.8} \quad (\text{II.5})$$

Il est ainsi possible de déterminer la constante a en fonction du coefficient d'échange global et des débits:

$$a = UA \left(\frac{1}{v_{an}^{0.8}} + \frac{1}{v_{ac}^{0.8}} \right) \quad (\text{II.6})$$

II.3.2 Calcul des performances de l'échangeur

La batterie est représentée par un échangeur à courants croisés avec le fluide air extrait non brassé et le fluide air neuf brassé. Les corrélations permettant de donner l'évolution des coefficients d'échange en fonction des débits d'air neuf et extrait données dans le cas d'un échange sur une plaque:

$$UA_a = \frac{UA_{aRat}}{V_{aRat}^{0.8}} V_a^{0.8} \quad (\text{II.7})$$

Les relations NUT- dans le cas d'un échange à courants croisés avec l'air extrait non brassé et l'air neuf brassé sont utilisées en faisant appel à la routine HEATEX.

II.4 Evolution de l'air dans un récupérateur

II.4.1 Bilans

II.4.1.1 Bilan enthalpique

En supposant qu'il n'y a pas de perte avec l'extérieur, on peut écrire:

$$qm_1 \times \Delta h_1 = qm_2 \times \Delta h_2 \Rightarrow \Delta h_1 = \frac{qm_2}{qm_1} \times \Delta h_2 \quad (\text{II.8})$$

II.4.1.2 Efficacité

La récupération d'énergie se fait par l'intermédiaire d'un échangeur, on peut donc écrire:

$$\varepsilon_T = \frac{\text{Puissance réellement transmise}}{\text{Puissance maximale transmissible}} \quad (\text{II.9})$$

$$\varepsilon_T = \frac{qm_1 \times \Delta h_1 \text{ ou } qm_2 \times \Delta h_2}{\min(qm_1, qm_2) \times \Delta h_e} = \frac{\max(\Delta h_1, \Delta h_2)}{\Delta h_e}$$

La plupart des récupérateurs n'échange que du sensible de sorte que l'on utilise une efficacité "sensible"

$$\varepsilon_S = \frac{qm_1 \times Cp_1 \times \Delta T_1 \text{ ou } qm_2 \times Cp_2 \times \Delta T_2}{\min(qm_1, qm_2) \times \Delta T_e} = \frac{\max(\Delta T_1, \Delta T_2)}{\Delta T_e} \quad (\text{II.10})$$

II.4.2 Evolution de l'air dans un récupérateur de chaleur

II.4.2.1 En hiver

- L'air neuf se chauffe
- L'air repris se refroidit et éventuellement se déshumidifie

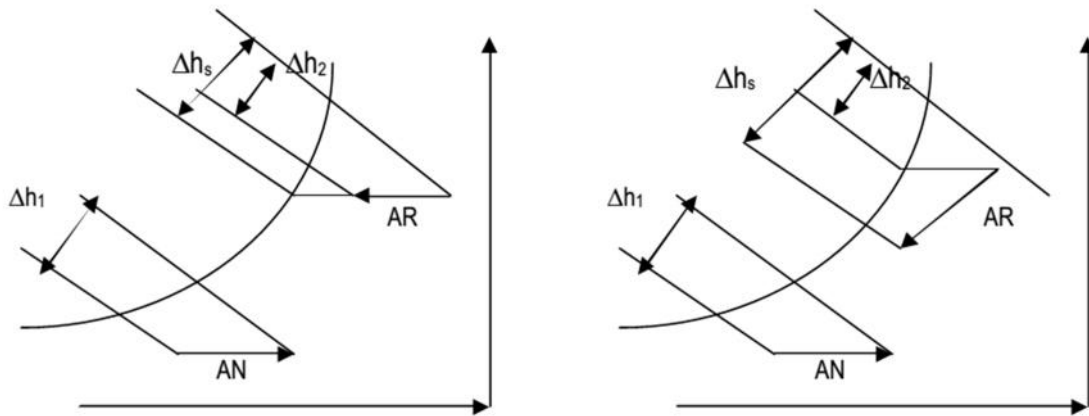


Figure II.2 : a la gauche l'air neuf se chauffe a la droit l'air repris se refroidit et éventuellement se déshumidifie.

$$\text{Rappel: } \Delta h_2 = \frac{q_{m1}}{q_{m2}} \times \Delta h_1 \tag{II.11}$$

Sans condensation $\Delta h_2 < \Delta h_s$

Sans condensation $\Delta h_2 > \Delta h_s$

Cas : ϵ ou Δh_e faible

Cas : ϵ fort et $T_{AN} < -5^\circ\text{C}$

Remarque:

1. En général $q_{mAN} \approx q_{mAR}$, l'AN ne subit pas de variation d'humidité, il subit donc la plus grande variation de température

$$\epsilon_s = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_e} \tag{II.13}$$

2. A noter que le teneur en humidité de l'air rejeté n'est pas déterminée avec précision (mais ce n'est pas important puisque l'air est rejeté). On peut néanmoins en avoir une estimation en appliquant l'efficacité sur les enthalpies:

$$\epsilon_s = \frac{h_{2e} - h_{2s}}{h_{2e} - h_{FPT}} \tag{II.14}$$

Si la température du point FPT obtenue est inférieure à $0[^\circ\text{C}]$, il y a risque de givre. [5]

II.4.2.2 En été

- L'air repris se chauffe
- L'air neuf se refroidit et éventuellement se déshumidifie (mais cela est rare sous nos climats et pour des utilisations classiques) [5]

II.5 Les différentes technologies

On distingue 4 technologies différentes :

- Echangeurs à plaques.
- Caloducs.
- Récupérateur à deux batteries.
- Echangeurs rotatifs.

II.5.1 Echangeur a plaques

- Ce type d'échangeur ne permet qu'un échange (transfert) de chaleur (pas d'humidité).
- Installé soit à plat, soit plus couramment sur une pente (afin de disposer de multiples possibilités de raccord).
- L'AR est toujours descendant afin de faciliter l'évacuation des condensats.
- Récupérateur simple, bon marché.
- Efficacité de 50 à 75% [5]

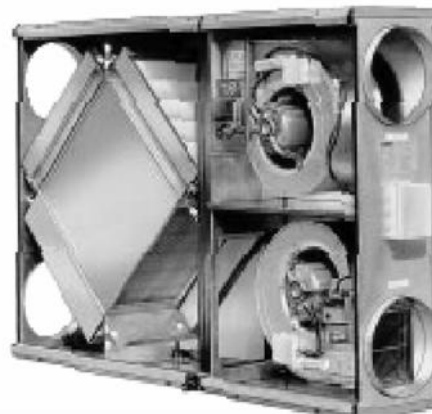


Figure II.3 : *Echangeur a plaque*

a)- Schéma de principe

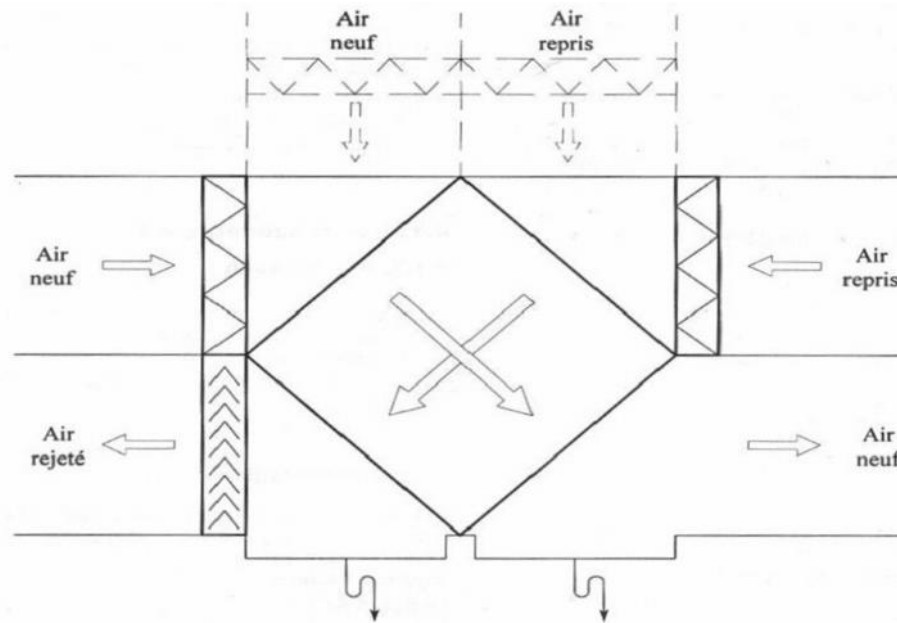


Figure II.4 : Schéma de principe a changeur à plaque

NB : L'échangeur est ici représenté positionné en pointe.

b)- Régulation

La régulation de la puissance se fait en bypassant une partie de l'AN

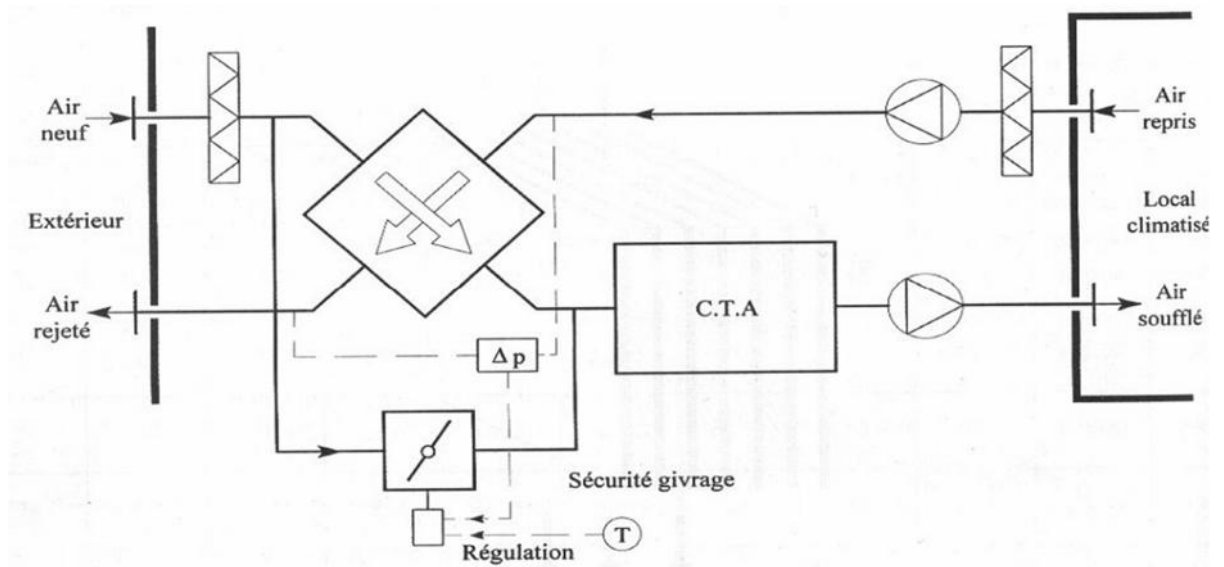


Figure II.5 : Schéma illustrative pour la régulation.

II.5.2 Caloduc

a)- **Principe**: Dans une enceinte étanche se trouve un fluide diphasique liquide + vapeur; le liquide se vaporise dans la zone chaude (évaporateur) et se condense dans la zone froide (condenseur).

b)- **Technologie** :

Il existe 2 grands types de caloducs:

- **Par gravité** \Rightarrow caloduc vertical, ils ne peuvent fonctionner que pendant une saison (généralement l'hiver car c'est pour cette saison que la récupération est maximale); on parle de diode thermique. [5]

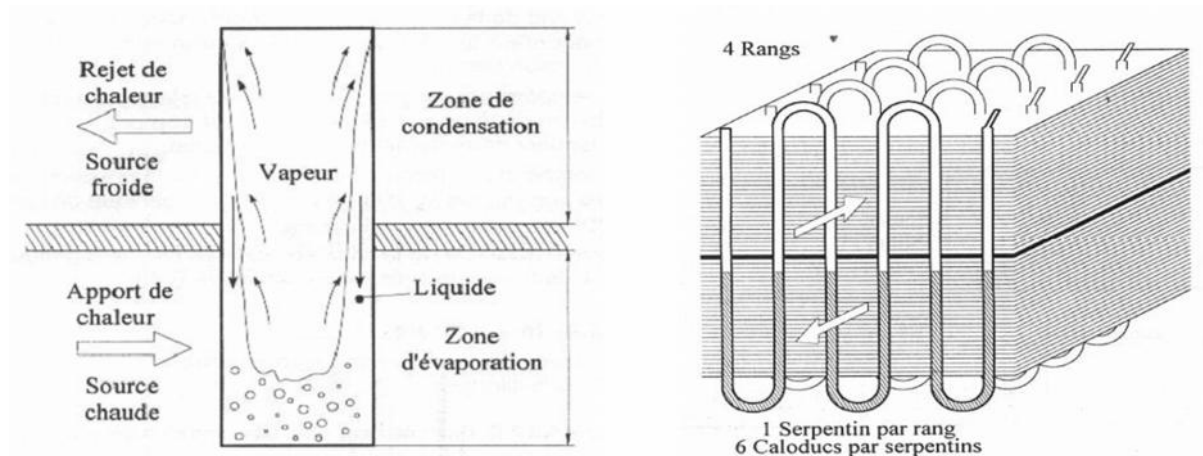


Figure II.6 : types de caloducs par gravité.

Afin de réduire les coûts de fabrication, les tubes d'une même rangée sont associés pour former un serpent de plusieurs caloducs. Lors de la mise en service, la répartition est irrégulière mais se régularise en cours d'utilisation.

- **Par effet de mèche** \Rightarrow caloduc horizontal, récupèrent la chaleur en toute saison. Les puissances échangées sont limitées mais elles peuvent être augmentées par inclinaison du caloduc.

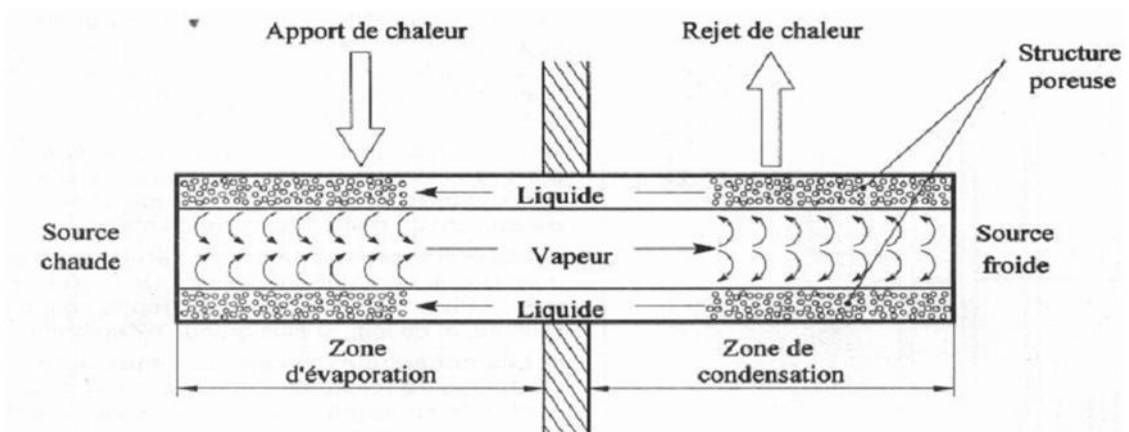


Figure II.7 : Types de caloducs Par effet de mèche.

c)- **Régulation:** Pour les caloducs horizontaux on modifie l'inclinaison

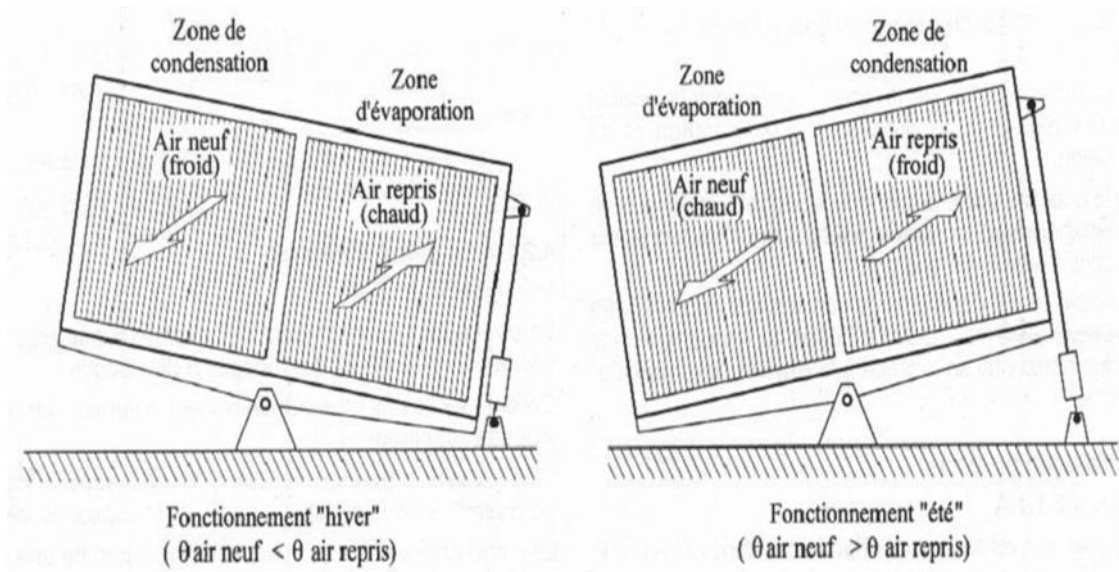


Figure II.8 : Les caloducs horizontaux on modifie l'inclinaison.

Pour les caloducs verticaux, on bipasse une partie de l'air

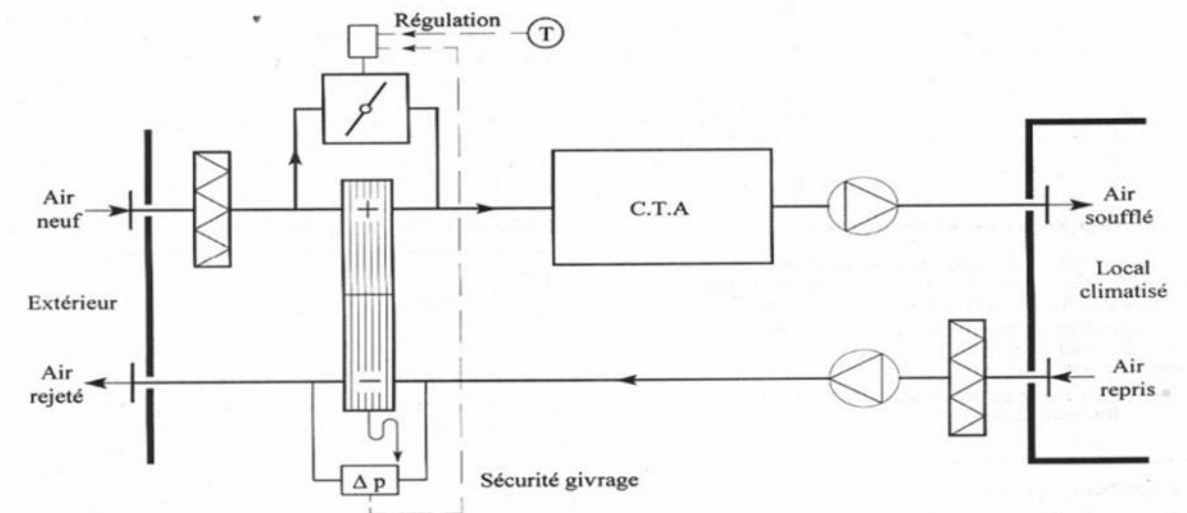


Figure II.9 : les caloducs verticaux, on bipasse une partie de l'air.

- **Caractéristiques particulières :**

- Efficacité comprise entre 40 et 60%
- Compacte
- Faible perte de charge

II.5.3 Récupérateur a deux batteries

a)- *Principe*: un échangeur est placé sur chaque conduit d'air et un fluide intermédiaire assure le transfert de chaleur entre ces deux échangeurs.

b)- *Technologie*: les 2 batteries sont montées sur un circuit hydraulique comportant pompe, vase d'expansion, soupape de sécurité, V3V et vannes d'isolement, dispositif de remplissage [5] :

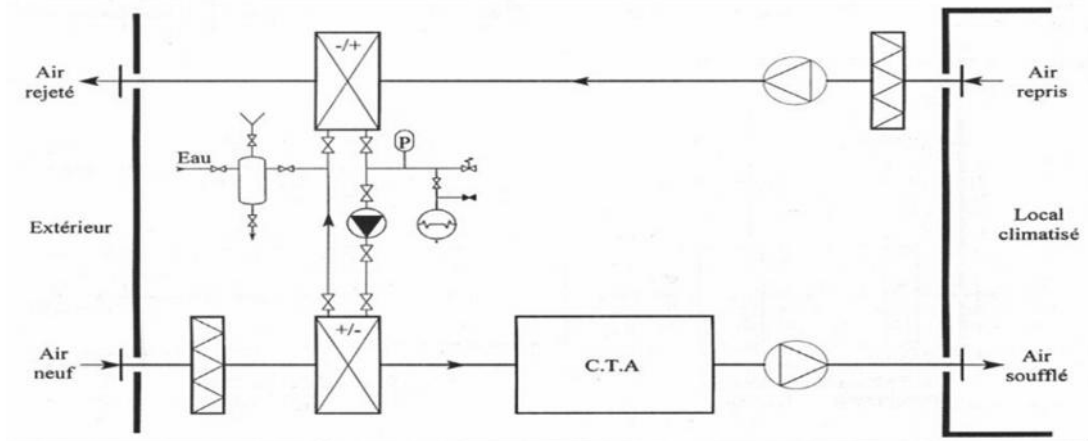


Figure II.10 : un échangeur de 2 batteries montées sur un circuit hydraulique.

c)- *Régulation* : elle se fait soit par variation de débit soit en agissant sur la vitesse de rotation de la pompe soit par l'intermédiaire de la V3V.

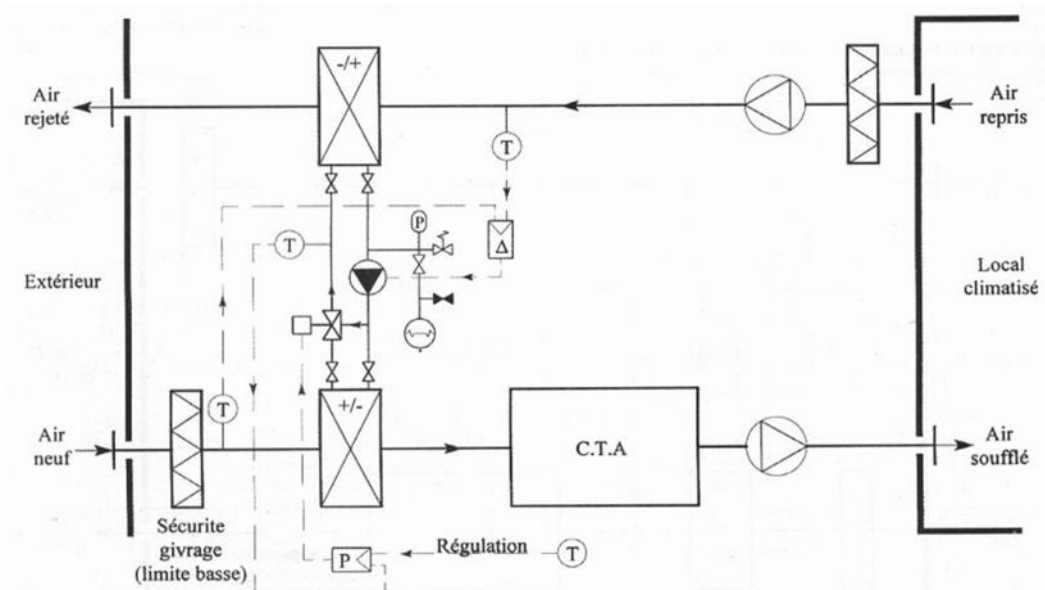


Figure II.11 : Un échangeur de 2 batteries montées sur un circuit hydraulique.

- **Caractéristiques particulières**

- faible efficacité 40 à 55%
- souplesse d'installation peut être ajouté facilement dans une installation existante

- **Exemple**

Système (ALDES) de ventilation double flux destiné aux petits locaux tertiaires (bureaux, petits commerces, etc.) qui permet de renouveler l'air efficacement en assurant un confort thermique en saison froide comme en saison chaude. [5]

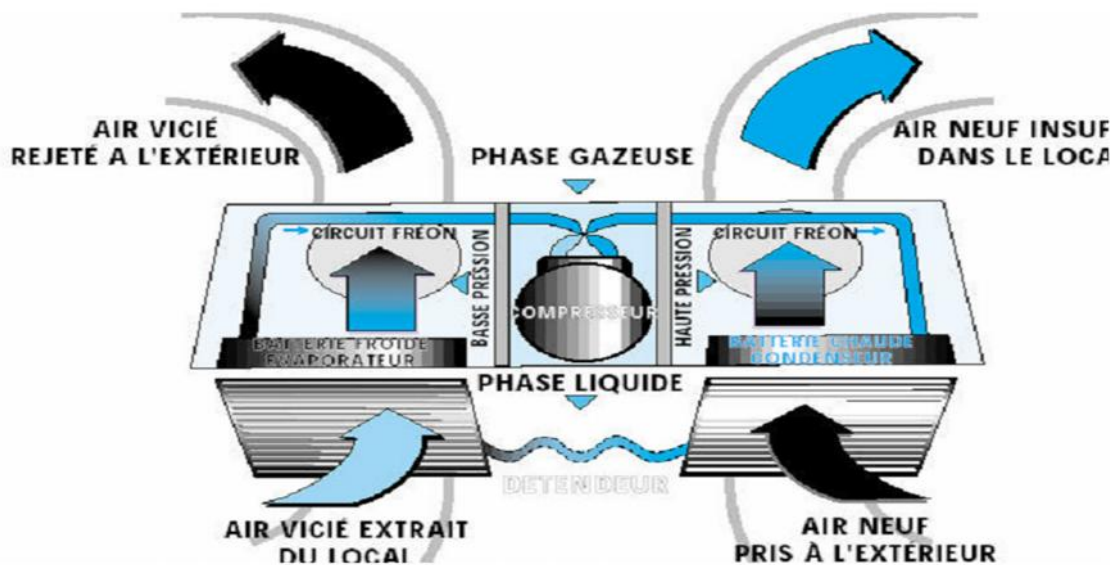


Figure II.12 : Système (ALDES) de ventilation double flux destiné aux petits locaux tertiaires.

Des ventilateurs d'insufflation et d'extraction renouvellent l'air des locaux par l'intermédiaire d'un réseau de conduits et de grilles d'insufflation et d'extraction.

Les flux d'extraction et d'insufflation sont parallèles. Un circuit frigorifique réversible composé de deux batteries, une dans chaque flux, reliées à un compresseur assure les échanges thermiques entre eux par détente directe. [5]

En mode préchauffage, le circuit frigorifique puise une puissance calorifique sur l'air extrait lorsqu'il traverse la batterie froide (évaporateur) pour la transférer à l'air insufflé au passage sur la batterie chaude (condenseur).

Grâce à la réversibilité du cycle thermodynamique, en mode rafraîchissement, le circuit puise une puissance calorifique sur l'air insufflé lorsqu'il traverse la batterie froide pour la rejeter, via l'air extrait, lors de son passage sur la batterie chaude

Comme dans tout circuit frigorifique, ce transfert d'énergie est dû à la circulation d'un fluide frigorigène dans les batteries. Ce fluide est mû par le compresseur qui agit comme une pompe aspirante/refoulant. [5]

II.5.4 Echangeur rotatif

Ce type d'échangeur permet le transfert de la chaleur et d'humidité.

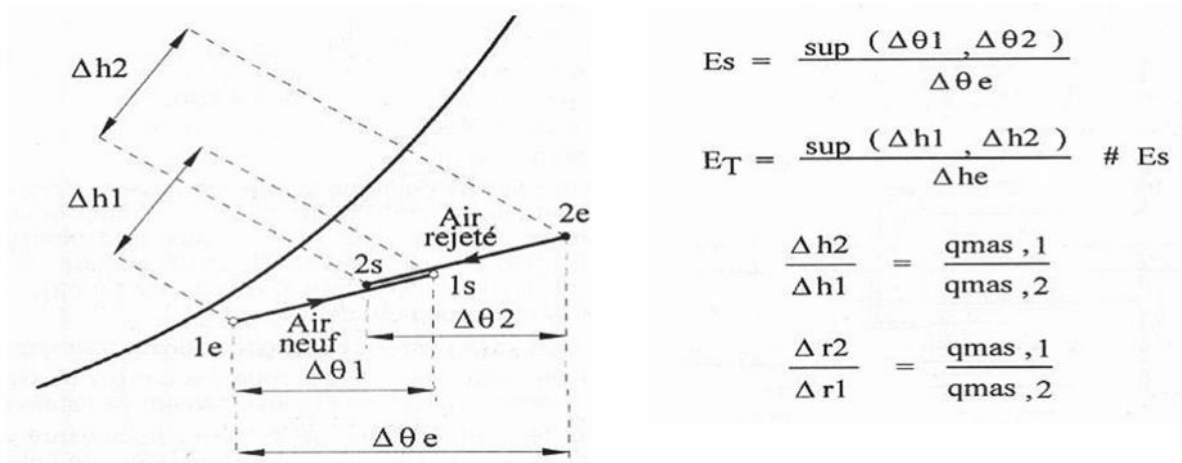


Figure II.13 : cycle d'échangeur relatif

a)- **Principe:** Roue métallique constituée de fin canaux au travers desquels circule l'air. La vapeur se condense sur le matériau puis se revalorise au contact de l'air chaud. Afin d'éviter la pollution de l'air neuf on met en place un secteur de purge

On distingue:

- Les roues hygroscopiques qui transmettent la totalité de l'eau condensée.
- Les roues non hygroscopiques qui transmettent partiellement l'eau condensée

b)- **Régulation :** elle se fait soit par variation de débit soit en agissant sur la vitesse de rotation de la roue (rq: l'efficacité augmente avec Vroue) soit par bipasse d'air neuf. [5]

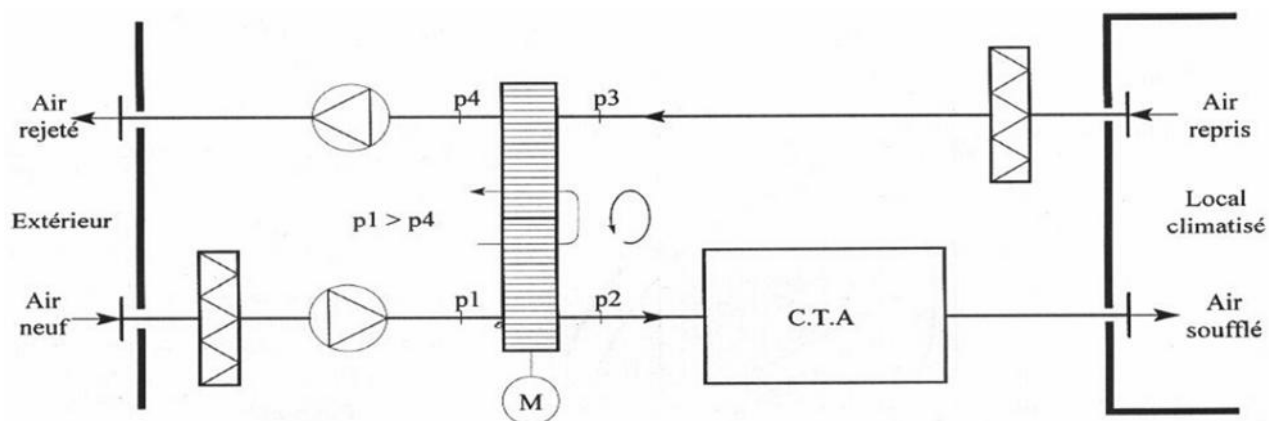


Figure II.14 : schéma principe échangeur rotatif

II.6 Conclusion

De nos jours, par suite de l'accroissement relatif du prix de revient de l'énergie, on recherche dans tous les cas à obtenir le rendement maximal d'une installation pour une dépense d'énergie minimale. C'est pour ça que les récupérateurs de chaleur sont très utilisés dans la géothermie.

**Calcul des
performances d'un
récupérateur de
chaleur à plaque**

III.1. Introduction

Le récupérateur de chaleur sont très utilisés dans la géothermie car la performance de l'échangeur placé dans une installation de géothermie est caractérisée par la différence entre les températures à l'entrée de la boucle géothermique et la sortie du circuit géothermique. Les meilleures performances sont obtenues avec le récupérateur de chaleur, Ils se distinguent par une compacité marquée due en partie à leur coefficient de transfert de chaleur élevé, une grande facilité de nettoyage et la possibilité d'ajuster leur surface à la demande. Nous avons réalisé un programme en langage MATLAB basé sur les paramètres d'entrée comme : les températures de l'air extrait et l'air neuf, les débits et la surface d'échange, on calculant à l'aide ce programme les températures de sortie d'air extrait et neuf et la puissance échangée par le récupérateur. Les résultats obtenus sont affichés et interprétés ci-dessous.

III.2 Récupérateur de chaleur

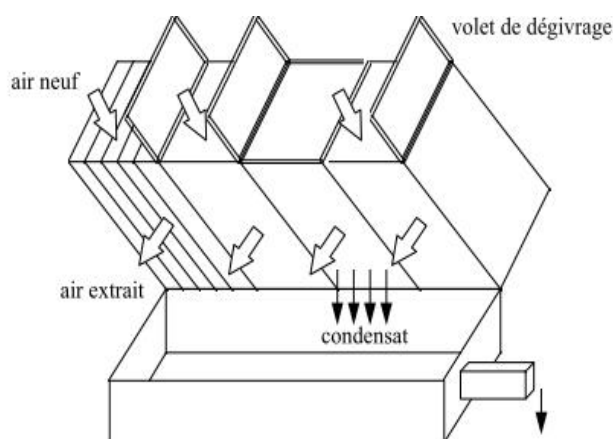


Figure III.1 : Récupérateur de chaleur air-air à plaques

III.3 Les données de départ

III.3.1 les entrées de programme

- Pour différents débits spécifiques d'air neuf à l'entrée

Débit Man	0.9260	0.9260	0.9260	0.9260	0.9260	0.9260	0.9260	0.9260
Débit Man1	0.8260	0.8260	0.8260	0.8260	0.8260	0.8260	0.8260	0.8260
Débit Man2	0.7260	0.7260	0.7260	0.7260	0.7260	0.7260	0.7260	0.7260
Débit Man3	0.6260	0.6260	0.6260	0.6260	0.6260	0.6260	0.6260	0.6260

Débit Mae	0.8142	0.8142	0.8142	0.8142	0.8142	0.8142	0.8142	0.8142
-----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Humidité Wane	0.0015	0.0030	0.0060	0.0090	0.0100	0.0130	0.0160	0.0190
Humidité Waee	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Température Tane	-7	-2	1	2	4	8	15	20
Température Tae	25	25	25	25	25	25	25	25
coefficient UAAnRat	1.6525e+003	1.6525e+003	1.6525e+003	1.6525e+003	1.6525e+003	1.6525e+003	1.6525e+003	1.6525e+003
Coefficient UAAnRat	1.5076e+003	1.5076e+003	1.5076e+003	1.5076e+003	1.5076e+003	1.5076e+003	1.5076e+003	1.5076e+003
Débit VaeRat	0.6785	0.6785	0.6785	0.6785	0.6785	0.6785	0.6785	0.6785
Débit VanRat	0.6050	0.6050	0.6050	0.6050	0.6050	0.6050	0.6050	0.6050

- Pour différentes températures d'entrée d'air extrait :

Température Tae	30	30	30	30	30	30	30	30
Température Tae1	25	25	25	25	25	25	25	25
Température Tae2	20	20	20	20	20	20	20	20
Température Tae3	15	15	15	15	15	15	15	15

Débit Mae	0.8142	0.8142	0.8142	0.8142	0.8142	0.8142	0.8142	0.8142
Débit Man	0.9060	0.8060	0.7060	0.6060	0.5060	0.4060	0.3060	0.2060
Humidité Wane	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015
Humidité Waee	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Température Tane	-7	-2	1	2	4	8	15	20
coefficient	1.6525	1.6525e+0	1.6525e	1.6525e	1.6525e	1.6525e	1.6525	1.6525e

nt UAAnRa t	e+003	03	+003	+003	+003	+003	e+003	+003
Coeffici ent UAAnRa t	1.5076 e+003	1.5076e+0 03	1.5076e +003	1.5076e +003	1.5076e +003	1.5076e +003	1.5076 e+003	1.5076e +003
Débit VaeRat	0.6785	0.6785	0.6785	0.6785	0.6785	0.6785	0.6785	0.6785
Débit VanRat	0.6050	0.6050	0.6050	0.6050	0.6050	0.6050	0.6050	0.6050

III.3.2 les sorties de programme :

Pour différents débits spécifiques d'air neuf à l'entrée : (quand le débit [0.6])

Température Tans	9.9390	12.3239	13.7254	14.1718	15.1186	17.0012	20.3047	22.6536
Température Taes	12.1282	14.0858	15.2511	15.6249	16.4208	18.0174	20.8630	22.9195
Puissance Qtot (1.0e+04 *)	1.0697	0.9070	0.8101	0.7791	0.7129	0.5803	0.3438	0.1729
Humidité Waes	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080
Humidité Wans	0.0015	0.0030	0.0060	0.0090	0.0100	0.0130	0.0160	0.0190

Pour différents de la Température d'entrée d'air extrait : (quand le température d'entrée d'air extrait [30])

Températur e Tans	9.3003	13.0582	15.1123	17.6386	20.5030	22.7854	25.2265	27.3220
Températur e Taes	12.0733	15.2672	17.0487	19.2316	21.7061	23.6989	25.8299	27.6689
Puissance Qtot (1.0e+04 *)	1.4897	1.2243	1.0763	0.8949	0.6892	0.5236	0.3465	0.1937
Humidité Waes	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080
Humidité Wans	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015

III.4 Résultats et discussions

III.4.1 Effet de sur la température d'entrée de l'air neuf sur la puissance échangée sur le récupérateur

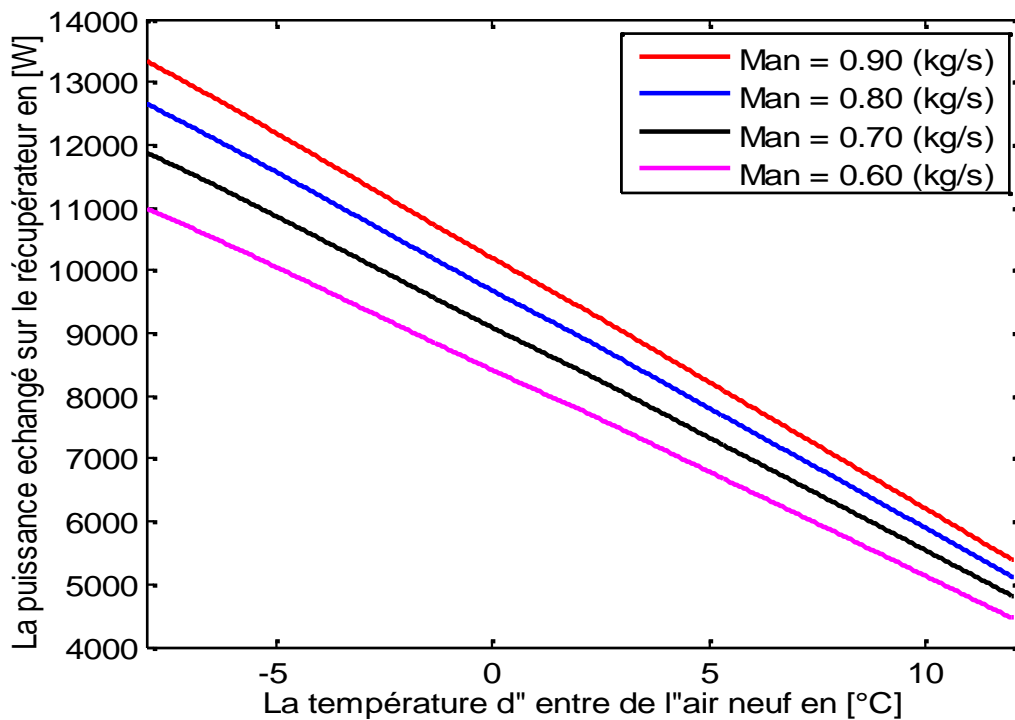


Figure III.2 : la variation de la puissance échangée sur le récupérateur en fonction de la température d'entrée de l'air neuf pour différents débits spécifiques d'air neuf à l'entrée.

Le figure III.2 représente la variation de la puissance échangée sur le récupérateur en fonction de la température d'entrée de l'air neuf pour différentes valeur de débit spécifique d'air neuf à l'entrée .on remarque que la puissance échangée sur le récupérateur décroît avec l'augmentation de la température de l'air neuf en entrée, pour une plage de température de [-2 à 10 °C], cela veut dire que le régime de fonctionnement de récupérateur croît avec l'augmentation de la température de l'air neuf à l'entré.

III.4.2 Effet de la température d'entrée de l'air neuf sur de la température de sortie de l'air extrait

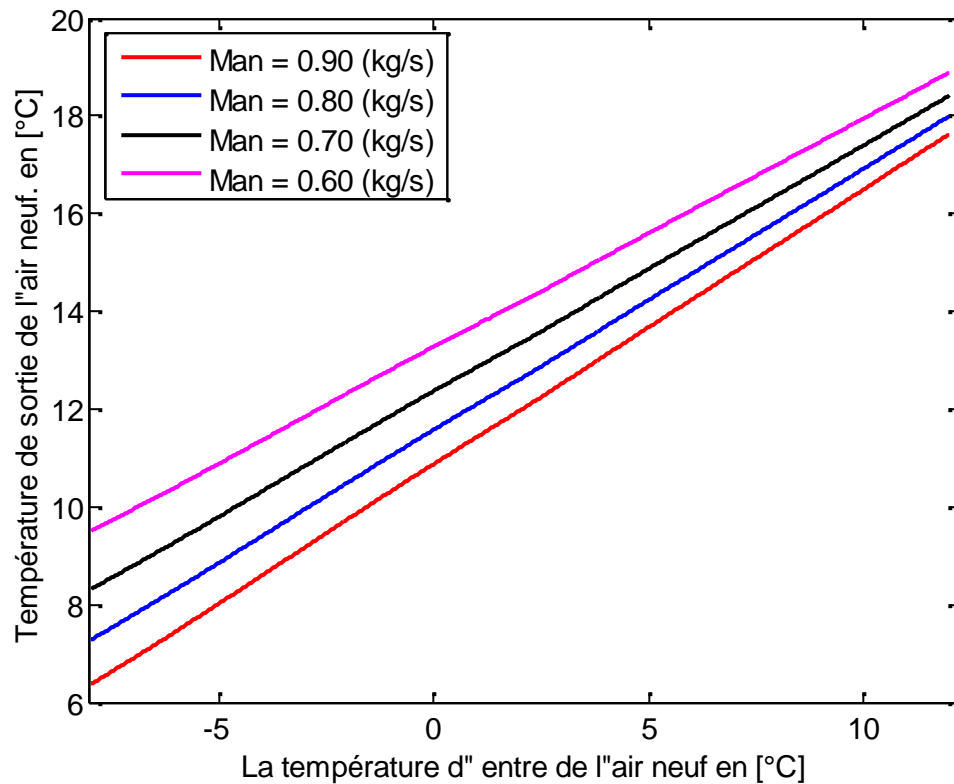


Figure III.3 : la variation de la température de sortie de l'air extrait en fonction de la température d'entrée de l'air neuf pour différents débit spécifique d'air neuf à l'entrée.

Le figure III.3 représente la variation de la température de sortie de l'air extrait en fonction de la température d'entre de l'air neuf pour différents valeur de débit spécifique d'air neuf à l'entrée. Nous remarquons que les températures à la sortie pour les deux fluides (air extrait et air neuf) croit avec l'augmentation de débit spécifique en entrée c'est à dire la relation entre les températures des fluides en sortie et le débit spécifique montre une linéaire proportionnalité, ce qui implique que l'augmentation de débit spécifique en entrée fait l'augmentation des températures des fluides en sortie, cela influe négativement sur la plage d'échange d'énergie et l'efficacité de récupérateur.

III.4.3 Effet de la température d'entrée de l'air neuf sur la température de sortie de l'air extrait

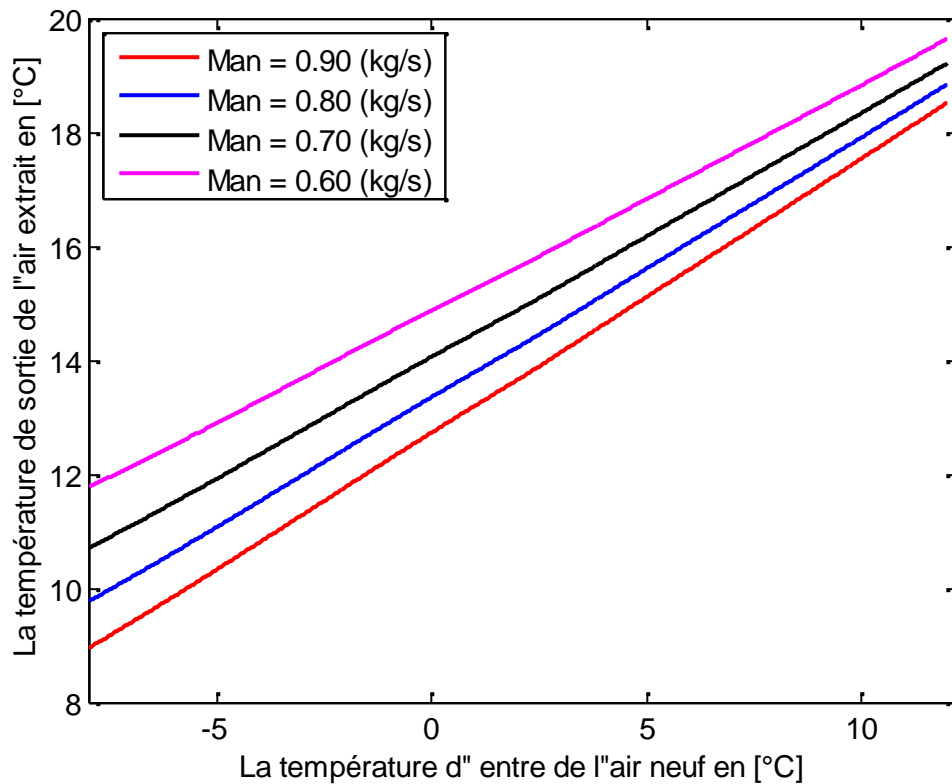


Figure III.4: la variation de la température de sortie de l'air extrait en fonction de la température d'entrée de l'air neuf pour différents débits spécifiques d'air neuf à l'entrée

Le figure III.4 représente la variation de la température de sortie de l'air extrait en fonction de la température d'entrée de l'air neuf pour différents valeur de débit spécifique d'air neuf à l'entrée, Comme nous pouvons le voir dans les courbes de la figure III.3, Cela est dû à l'augmentation de débit spécifique d'air neuf.

III.4.4 Effet débit spécifique d'air neuf sur la puissance échangé sur le récupérateur

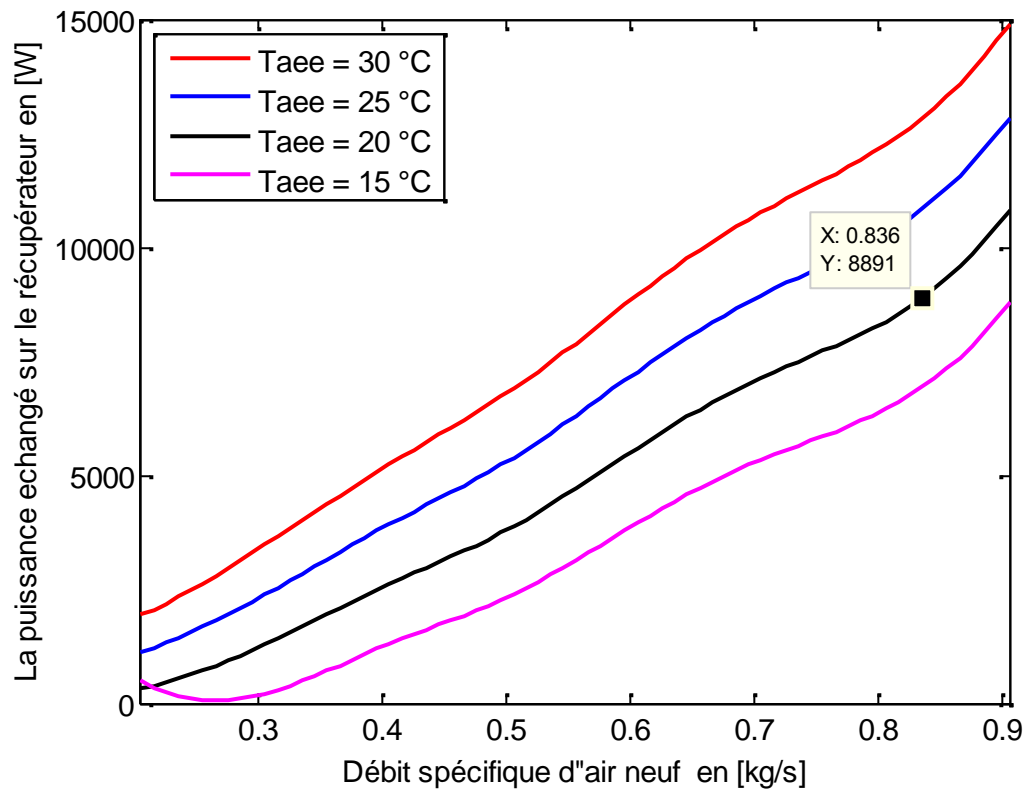


Figure III.5: la variation de la puissance échangé sur le récupérateur en fonction débit spécifique d'air neuf pour différents Température d'entrée d'air extrait.

Le figure III.5 représente la variation de la puissance échangée sur le récupérateur en fonction du débit spécifique d'air neuf pour différentes températures d'entrée d'air extrait. On constate une augmentation très nette de la puissance échangée sur le récupérateur lorsque le débit spécifique de l'air neuf à l'entrée croit. En effet, on constate que plus la température de l'air extrait à l'entrée faible, plus la puissance échangée sur le récupérateur est basse.

III.4.5 Effet débit spécifique d'air neuf sur la température de sortie de l'air neuf

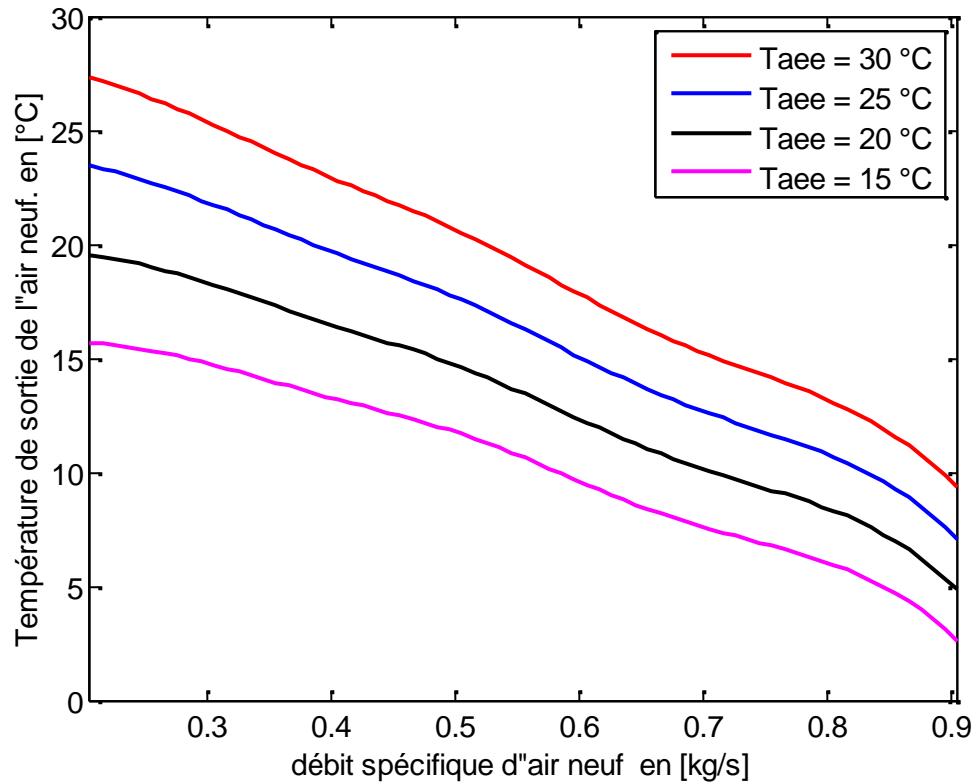


Figure III.6 : la variation de la température de sortie de l'air neuf en fonction de débit spécifique d'air neuf pour différentes températures d'entrée d'air extrait.

Le figure III.6 représente la variation de la température de sortie de l'air neuf en fonction du débit spécifique d'air neuf pour différentes températures d'entrée d'air extrait, et nous notons une baisse dans les courbes des températures d'entrée d'air extrait, cela est dû à la quantité croissante de débit spécifique d'air neuf. Donc, plus la quantité de flux augmenter plus la température de sortie de l'air neuf dans le récupérateur sera diminuée.

III.4.6 Effet débit spécifique d'air neuf sur la température de sortie de l'air extrait

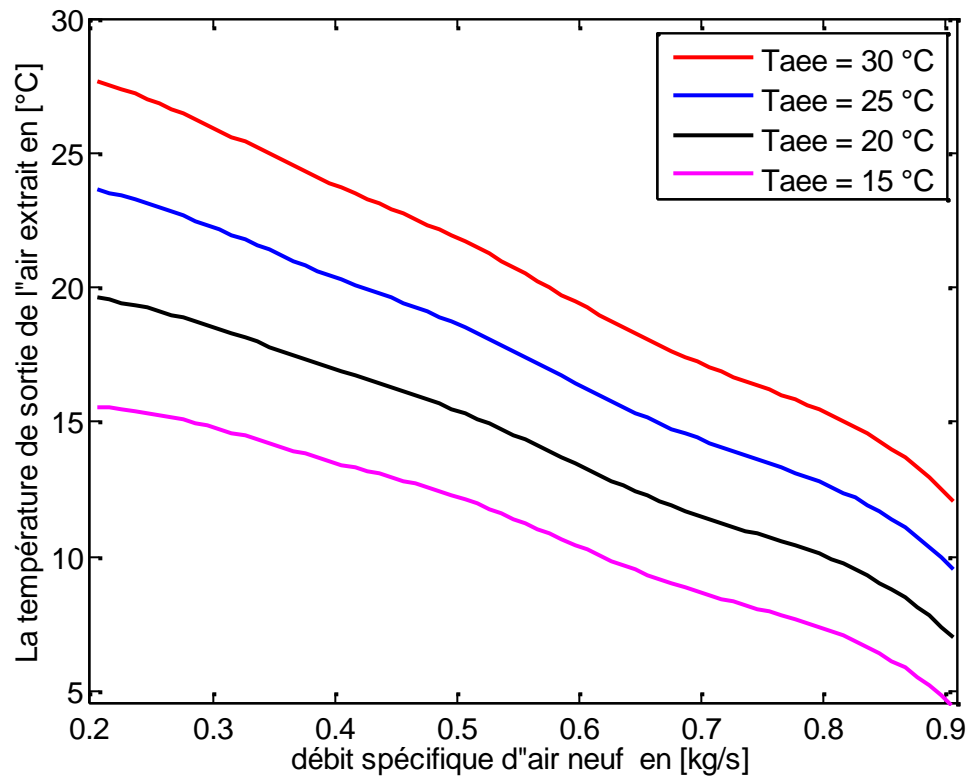


Figure III.7: la variation de la température de sortie de l'air extrait en fonction de débit spécifique d'air neuf pour différents température d'entrée d'air extrait.

Le figure III.7 représente la variation de la température de sortie de l'air extrait en fonction du débit spécifique d'air neuf pour différentes températures d'entrée d'air extrait, Nous notons une diminution marquée dans les courbes des températures d'entrée d'air extrait jusqu'à ne pas exister, et il est provoquée par la quantité de débit spécifique d'air neuf ,que plus celle-ci est grande, plus le température extrait et refroidit ainsi l'air à l'intérieur du récupérateur.

III.5 Conclusion

A partir de l'étude du comportement thermique de récupérateur de chaleur on constate que la puissance échangée à l'intérieur de celle-ci est évaluée en fonction de la température de l'air neuf à l'entrée. La même constatation est faite pour les paramètres de performance comme le débit spécifique de l'air extrait, la surface d'échange et la température de l'air extrait.

Dans ce mémoire, nous avons présenté une étude claire et détaillée sur un récupérateur de chaleur, leurs descriptions et surtout leurs modes d'échange d'énergie.

Les calculs de la performance de récupérateur de chaleur ont montré que ces machines sont influencées par la température de l'air neuf à l'entrée considérablement durant les différents régimes d'écoulement des débits spécifiques à l'entrée.

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

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

Nous avons conclu que le régime de fonctionnement d'un récupérateur de chaleur croît avec l'augmentation de la température de l'air neuf à l'entrée, et l'augmentation de débit spécifique en entrée cause l'augmentation des températures des fluides en sortie, cela influe négativement sur la plage d'échange d'énergie et l'efficacité de récupérateur. Ainsi que l'augmentation de débit spécifique d'air neuf et la quantité de débit d'air fait diminuer la température de l'air extrait.

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

Références

[1]: M. MOUSSA, J. MARIEPEERIERCORNET . Echangeur de chaleur: échangeur tubulaire et Echangeur à surface raclée , JEAN CATAING LASVINOTTES, 2002.

[2] : André BONTEMPS, Alain GARRIGUE, Charles GOUBIER, Jacques HUETZ, Christophe MARILLET, Pierre MERCIER, Roland VIDIL, « Description des échangeurs », technique de l'ingénieur [B 2 341].

[3]: A.mezmiz. Mini projet 1 érépost graduation " différent type d'échangeur" de l'université Mentouri Constantine 2006.

[4]: J.F.SACCADURA. Initiation aux transferts thermiques, paris 4 émetirage ,1993.

[5] : BTS FEE 1ère Année Cours de Climatisation LGT Galilée.