

I.1.INTRODUCTION

Le froid est un terme assez vague utilisé pour désigner un manque relatif de la chaleur. Il excite principalement deux systèmes de production de froid :

- Le système à comprissions mécanique.
- Le système à sorption.

Ainsi deux systèmes de refroidissement :

- système de refroidissement à partir d'une source non renouvelable.
- système de refroidissement à partir d'une source renouvelable.

Dans ce chapitre on va baser sur le système à sorption (absorption) alimenté à partir d'une source renouvelable (Energie solaire).

I.2.DESCREPTION DE SYSTEME DE REFROIDISSEMENT SOLAIRE A ABSORPTION

Les systèmes de refroidissement solaire sont fondés sur les principes de la thermodynamique. Ce système fait du froid avec du chaud, La technique est de fournir de la chaleur grâce à des capteurs solaire à un dispositif à « absorption ».

Ce dispositif dissocie par ébullition une solution d'eau et de bromure de lithium. Après refroidissement, la recombinaison des deux composants produit du froid qui est distribuée dans un système de climatisation classique dans le bâtiment.

I. 2.1 Technologie de réfrigération solaire

Il existe plusieurs voies d'utilisation de l'énergie solaire pour produire le froid. On peut les répertorier dans deux types de procédés principaux :

i) le premier est basé sur l'emploi de l'électricité en utilisant des panneaux photovoltaïques.

ii) le deuxième est basé sur l'emploi des panneaux photo-thermiques. Les techniques utilisées sont listées dans (la figure I.1).

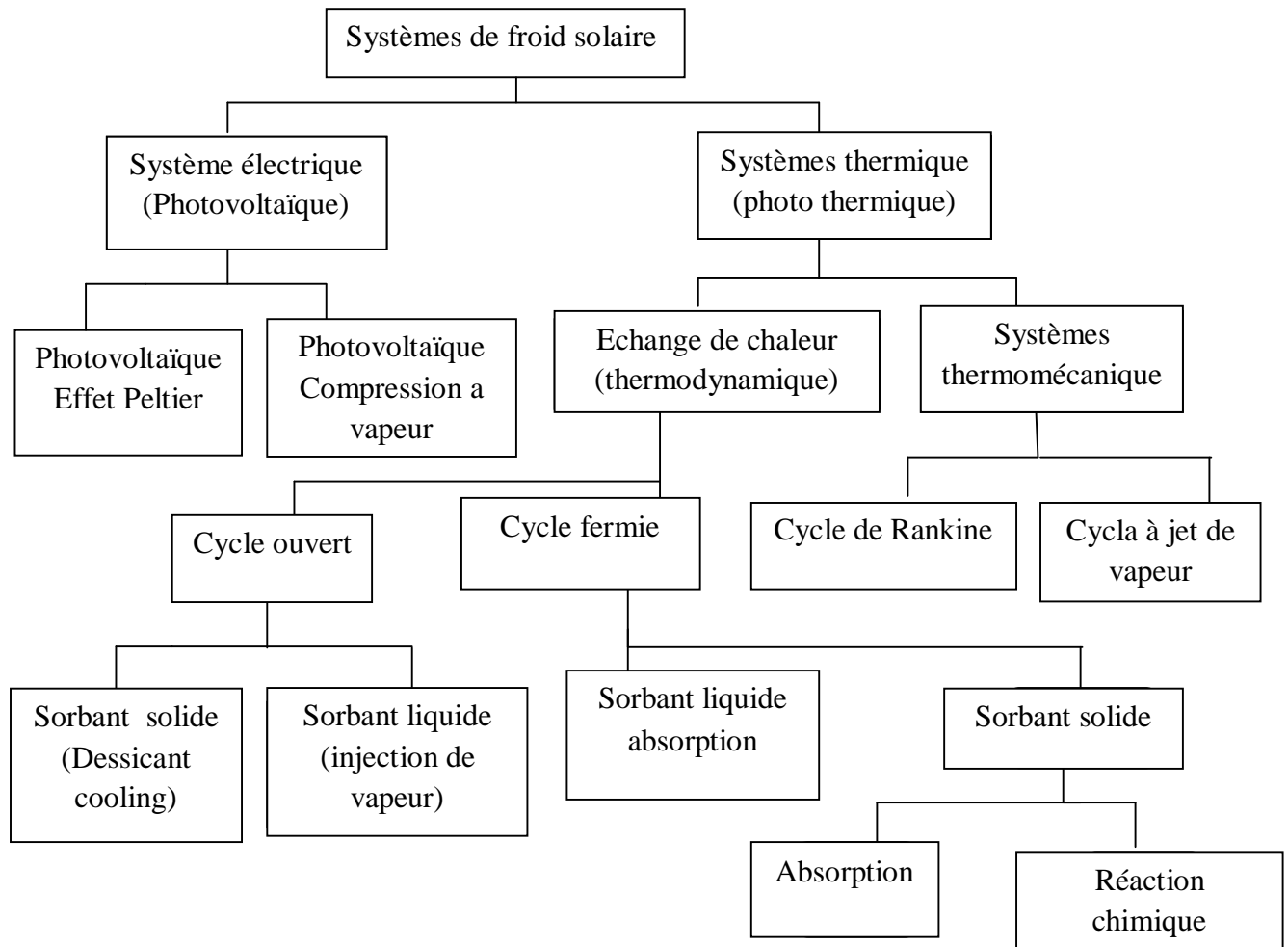


Figure I.1 : Organigramme des techniques de froid solaire [3].

I.2.1.1 Réfrigération solaire par sorption

Les systèmes existants de production de froid utilisant l'énergie solaire thermique sont basés sur trois phénomènes de sorption, le procédé par absorption liquide-gaz, procédé par adsorption solide-gaz et le procédé par réaction chimique. Ces phénomènes utilisent l'attraction physique ou chimique entre un couple de substances dont le but de produire le froid. Une sorption à une capacité unique de transformer l'énergie thermique directement en puissance de refroidissement. La substance à plus faible température d'ébullition est appelée le sorbat et l'autre est appelée le sorbant, le sorbat joue le rôle du fluide frigorigène. La figure (I.2) montre un schéma d'un système fermé de sorption, le processus de la sorption est désigné par "l'absorbeur" et le processus de désorption est désigné par la composante "générateur". Nous appelons ainsi l'ensemble de ces deux composantes un lit d'adsorbant, le générateur reçoit la chaleur Q_g du panneau solaire pour générer le sorbat, ce dernier a été auparavant absorbé en tant que fluide frigorigène dans l'absorbeur. La vapeur réfrigérante produite dans le processus de génération se condense dans le condenseur en rejetant la quantité de chaleur

de condensation à l'air ambiant Q_c . Dans l'évaporateur, le réfrigérant liquéfié dans le condenseur s'évapore en absorbant la quantité de chaleur Q_e de l'espace à refroidir. Par la suite, le sorbat, initialement généré dans le générateur est absorbé comme vapeur frigorigène sortant de l'évaporateur, en rejetant la quantité de chaleur de sorption Q_a vers le milieu ambiant [4].

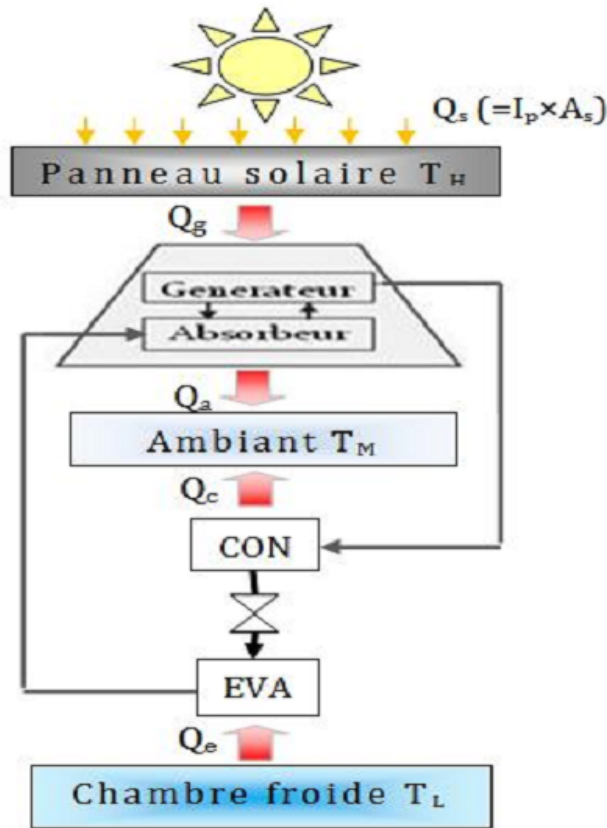


Figure I.2 : Système de réfrigération par sorption [4].

I.3. COMPOSANTE DE SYSTEME DE REFROIDISSEMENT SOLAIRE A ABSORPTION

Dans la suite de ce mémoire on va détailler les principaux composants constituant le système de refroidissement solaire à absorption :

- Les capteurs solaires utilisés à cette application.
- les différents types et éléments de la machine frigorifique à absorption.
- les échangeurs de chaleur.

I.3.1 Les capteurs solaires

Un capteur solaire thermique (ou capteur héliothermique ou collecteur solaire ou simplement capteur solaire) est un dispositif conçu pour recueillir l'énergie solaire transmise par rayonnement et la communiquer à un fluide caloporteur (gaz ou liquide) sous forme de chaleur. Cette énergie calorifique peut ensuite être utilisée pour le chauffage de bâtiments, pour la production d'eau chaude sanitaire ou encore dans divers procédés industriels.

Il existe différents types de capteurs solaires thermiques selon le type d'application considéré, la nature de l'élément caloporteur utilisé et le niveau de température qu'ils permettent d'atteindre.

I.3.1.1 Les capteurs à tubes sous vide (Figure I.3 et Figure I.4)

Le fluide caloporteur circule à l'intérieur d'un tube sous vide simple ou double. Le vide améliore l'isolation contre les pertes en convection, par rapport au capteur précédent. Deux principes sont rencontrés : le premier principe est le même que pour les capteurs plans vitrés, le fluide caloporteur parcourt le tube en aller et retour pour recueillir la chaleur ; le second est plus poussé technologiquement, il fait appel à un caloduc, utilisant un second fluide caloporteur restant dans le tube.

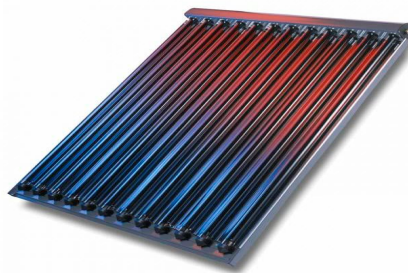


Figure I.3 Capteur solaire à tubes sous vide

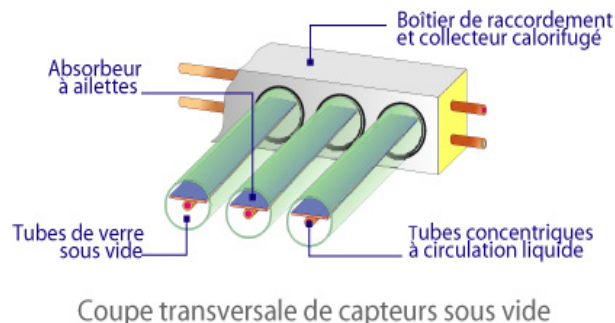


Figure I.4 Coupe transversale de capteur solaire à tube sous vide

I.3.1.2 Les capteurs plans vitrés

Le fluide caloporteur, très souvent de l'eau mélangée à un anti-gel alimentaire, de type mono-propylène glycol, passe dans un serpentin plaqué en sous face d'une feuille absorbante, le tout placé derrière une vitre, dans un caisson isolé de laine minérale et/ou de mousses composites polyuréthanes (polyisocyanurate) ; la vitre est transparente à la lumière du soleil mais opaque aux rayons infrarouges de l'intérieur, ce qui piège la chaleur.

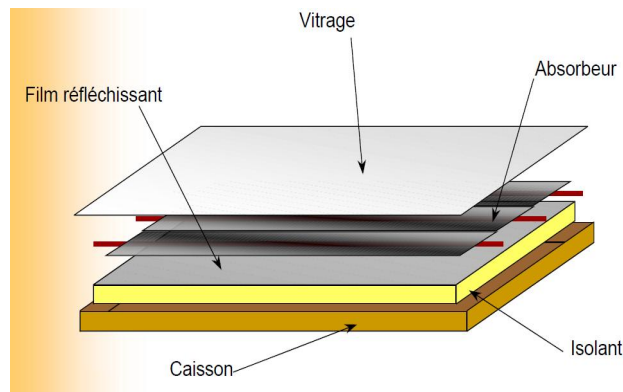


Figure I.5 schéma d'un capteur solaire vitré

I.3.1.3 Les capteurs non-vitrés (aussi appelé capteur moquette)

Par exemple les capteurs moquette, d'une structure très simple utilisés essentiellement pour le chauffage de l'eau des piscines, en été ; ou les capteurs non-vitrés à revêtement sélectif, à irrigation totale, en acier inoxydable, utilisés essentiellement pour le préchauffage d'eau chaude sanitaire, le chauffage basse température plancher chauffant et le chauffage des piscines.



Figure I.6 Capteur solaire non vitré

I.3.2 La machine frigorifique à absorption

I.3.2.1 Historique des machines frigorifique à absorption

La première machine frigorifique a été conçue en 1877 par Narine qui a utilisé le mélange eau-acide sulfurique dans une installation de laboratoire fonctionnant en continu. Ceci a marqué le début des recherches dans le domaine de la production du froid, bien que l'utilisation de ce mélange a cessé à partir de 1920 pour des raisons de corrosion et de toxicité [5, 6].

L'idée de produire du froid à l'aide de systèmes à absorption est née durant les années 1859-1860 grâce à Ferdinand Carré qui a déposé le brevet de la première machine frigorifique à absorption fonctionnant avec le couple ammoniacque (frigorigène), eau (absorbant) [5,7]. En utilisant la découverte de Joseph Priestley qui avait constaté en 1784 la grande affinité de ces deux fluides l'un pour l'autre. Le brevet de Carré prévoyait deux types de machines pour la production de la glace: une à faible puissance et à fonctionnement intermittent et une autre plus puissante à cycle continu [5].

A partir de 1880, Linde« Linde's Ice Machine Company » a mis au point en Europe la première installation à compression de vapeur au détriment de la machine à absorption qui commença alors à perdre de son importance. Une véritable renaissance a été enregistrée au début des années 20, toujours avec le mélange eau- ammoniac grâce aux améliorations proposées par Altenklich, Merkele, Bosniakovic et Niebergall sur l'aspect pratique et théorique [5].

Les années 40 ont vu apparaître, aux Etats-Unis, la machine à absorption eau-bromure de lithium, où l'eau est le frigorigène, selon une adaptation du cycle de Carré qui est depuis largement utilisée en climatisation [5, 7].

Cependant le marché de systèmes à absorption a connu un repli aux années 50 dû au développement des machines à compression possédant une architecture plus simple et ayant des performances énergétiques meilleures [6].

Dés 1960 une industrie Japonaise des climatiseurs s'est développée où au début, les machines étaient toutes du type à compression, actionnées par un moteur électrique. Mais les climatiseurs à absorption fonctionnant avec la solution d'eau-bromure de lithium, actionnés par combustion de gaz, se développèrent aussi rapidement pour aboutir à la commercialisation d'un climatiseur à deux étages, de conception Japonaise en 1964 [6].

L'année 1970 a marqué le début de la production et de la commercialisation des groupes à absorption à gaz, dépassant celles des machines à absorption, (Les groupes à absorption GA sont des machines de production d'eau glacée monobloc à refroidissement par air, l'alimentation en énergie étant assurée par la combustion du gaz naturel ou du propane).

Actuellement et en raison de la conscience écologique de plus en plus grandissante, l'utilisation de l'énergie renouvelable est devenu un recours plus fréquent et en même temps très attractif, créant un cadre de renaissance et de développement pour les pompes à chaleur, dépassant les défauts techniques qui ont pu stopper l'essor de la première génération vers les années 80. Par conséquent, les machines à absorption s'avèrent être des systèmes assez fiables et économiques tout en n'ayant aucune incidence négative envers l'environnement.

I.3.2.2 Principe de fonctionnement de la machine frigorifique à absorption

La méthode de réfrigération par absorption utilise un cycle purement thermique qui repose sur des différences d'affinités entre deux corps, suivant leurs conditions thermodynamiques : pression, température, concentration. L'absorption est l'affinité entre deux fluides (liquide-liquide ou liquide - vapeur). Le fluide de travail du système est une solution contenant un fluide de réfrigération (un réfrigérant) et un absorbant qui ont l'un pour l'autre une forte affinité.

La solution saline (Figure I.7) à faible concentration d'absorbant est chauffée dans le désorbeur (ou générateur) grâce à la chaleur motrice et libéré de l'eau sous forme gazeuse, qui va se condenser dans le condenseur la solution saline est ainsi concentrée. Le réfrigérant se vaporise dans l'évaporateur et est absorbée par la solution concentrée dans l'absorbeur.

L'absorption est un phénomène exothermique, qui est défavorisée par une haute température. C'est pourquoi un dispositif (généralement une tour de refroidissement humide) est utilisé pour évacuer la chaleur générée dans l'absorbeur et dans le condenseur. Un échangeur de chaleur entre l'absorbeur et le désorbeur existe afin de préchauffer la solution froide venant de l'absorbeur et refroidir la solution en sortie de générateur. Le cycle de la machine à absorption est basé sur le fait que la température d'ébullition d'un mélange est plus haute que celle d'un liquide pur [8].

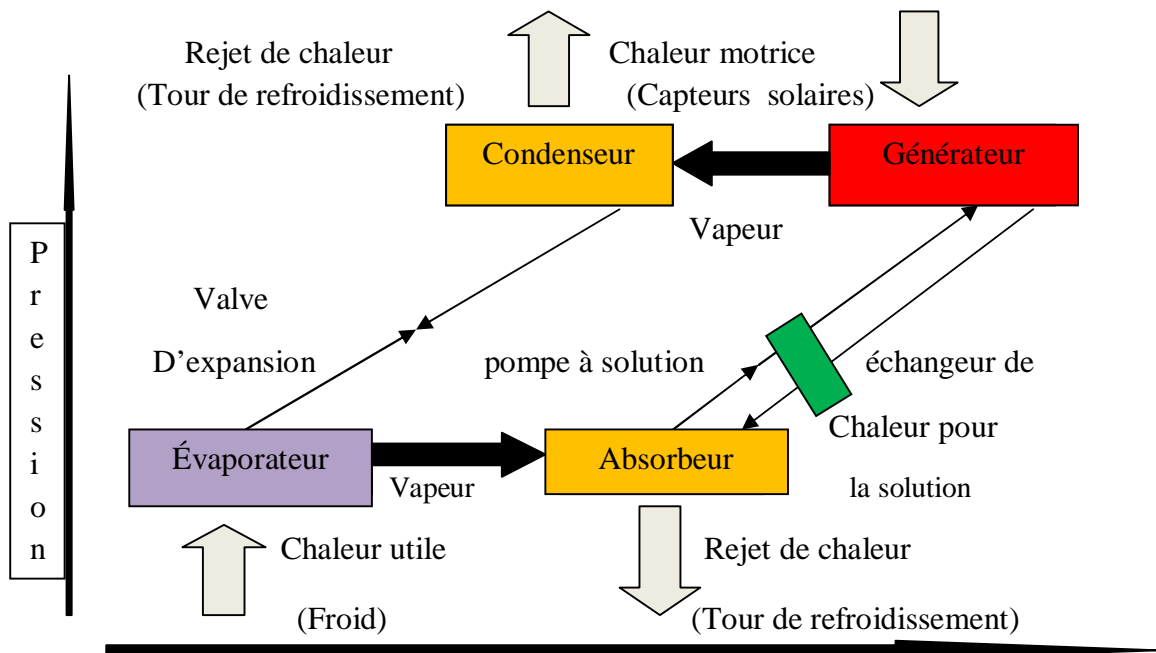


Figure I.7: Schéma de fonctionnement du cycle absorption simple effet [9]

I.3.2.3 Schéma de principe

Le schéma de principe des machines frigorifiques à absorption est le même que celui des machines à compression mécanique : vaporisation à basse température, condensation à haute température.

La machine est constituée de 4 éléments :

- 1 : Condenseur
- 2 : Bouilleur
- 3: Evaporateur
- 4 : Absorbeur

I.3.2.4 Composantes

- **Le bouilleur** : la solution reçoit la quantité de chaleur Q_b ce qui provoque la vaporisation de la solution eau-ammoniac. L'ammoniac s'évapore et le titre d'ammoniac liquide diminue.
- **Le condenseur** : l'ammoniac gazeux se condense à la température T_{atm} et la pression P_b .
- **L'évaporateur**: après avoir été détendu (Pression P_{atm}) l'ammoniac se détend dans l'évaporateur en absorbant la quantité de chaleur Q_0 .
- **L'absorbeur**: les vapeurs issues de l'évaporateur sont acheminées vers l'absorbeur où elles rencontrent la solution pauvre eau-ammoniac issue du bouilleur après avoir été détendue.

- L'absorption des vapeurs dégage une quantité de chaleur Q_A (réaction exothermique). La solution enrichie est pompée vers le bouilleur.

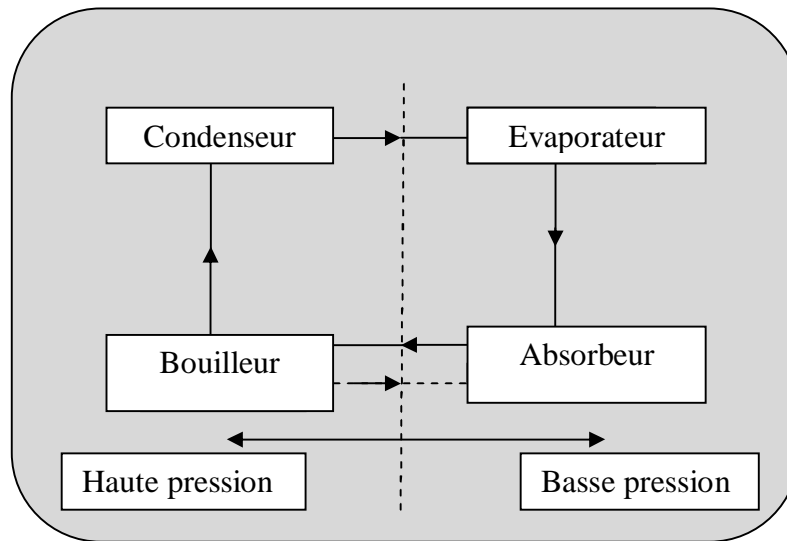


Figure I.8 les composantes d'une machine frigorifique à absorption

I.3.2.5 Les types de La machine frigorifique à absorption

La machine frigorifique à absorption a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche dans le but d'améliorer son fonctionnement et d'accroître son efficacité. Les travaux ont été principalement focalisés sur le développement du principe de fonctionnement ainsi que la recherche de nouveaux fluides adéquats. Par conséquent plusieurs configurations de la pompe à chaleur à absorption ont été proposées dans un nombre important de travaux de recherche.

Dans cette partie un aperçu général est présenté concernant les systèmes à absorption classiques où certaines nouvelles configurations de cette machine sont rapportées [10].

I.3.2.5.A Machines à absorption classiques

Dans les cycles frigorifiques à compression la force motrice de la revalorisation thermique est la compression d'un fluide frigorigène, généralement un corps pur, entre un puits de chaleur à haute température et à haute pression (le condenseur), et une source à basse température (l'évaporateur).

Cependant pour les cycles à absorption l'énergie fournie n'est plus une énergie mécanique mais de la chaleur provenant d'une source thermique. Donc au lieu d'une compression, c'est un phénomène thermochimique d'absorption/désorption qui est utilisé pour revaloriser l'énergie. Cette opération d'absorption est basée sur l'affinité relative des

molécules d'une substance volatile agent vecteur du froid et une autre moins volatile (ou pratiquement pas) appelées réfrigérant et absorbant, respectivement.

Il existe plusieurs configurations des cycles à absorption classiques (frigorifiques ou thermiques) dont les plus importantes sont comme suit:[11]

I.3.2.5. A.a Système à absorption à simple effet

La figure I.9 montre le cycle frigorifique à absorption appelé aussi frigo pompe avec ses différentes parties comme le condenseur et l'absorbeur qui rejettent de la chaleur inutile dans l'environnement, le désorbeur (générateur) qui prélève une quantité de chaleur d'une source à plus haute température et l'évaporateur qui pompe de la chaleur dans l'enceinte à refroidir, produisant ainsi une froideur utile. Ce cas correspond à la production du froid pour des usages divers comme la climatisation des bâtiments, la production de la glace, la conservation des aliments et leurs congélations rapides, etc. [11]

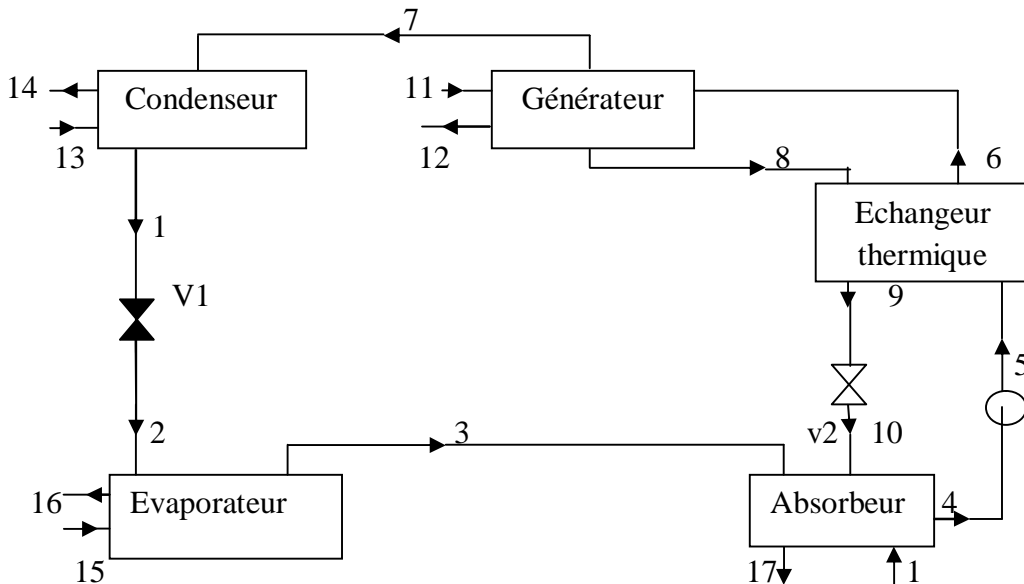


Figure I.9: illustration d'un système de réfrigération par absorption à simple effet [12]

I.3.2.5. A. b Transformateur de chaleur à absorption

La figure I.10 montre le cycle transformateur de chaleur où l'absorbeur produit de la chaleur utile et le condenseur rejette de la chaleur inutile dans l'environnement. L'évaporateur et le désorbeur prélèvent de la chaleur d'une source peu onéreuse (ou gratuite) à température intermédiaire. Ce cas correspond à la revalorisation des effluents résiduels industriels à environ 60°C-80°C en vue d'obtenir des flux énergétiques de niveau beaucoup plus élevé directement utilisables dans les procédés. A titre d'exemple, sur le plan

domestique, le thermo transformateur de chaleur peut être utilisé pour le chauffage de bâtiments par prélèvement de la chaleur de l'environnement à environ 5°C. [11]

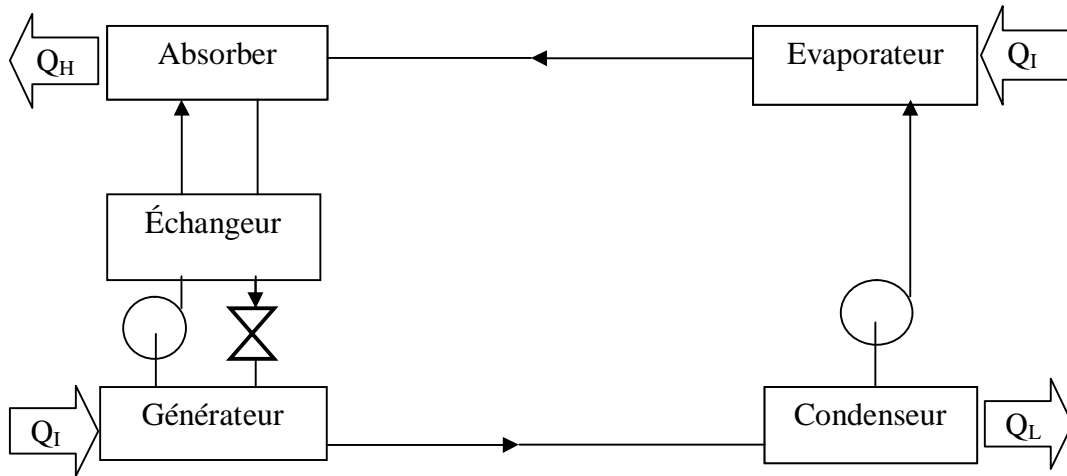


Figure I.10 Transformateur de chaleur à absorption [11]

I.3.2.5. A.c Cycles frigorifiques à plusieurs effets

L'objectif du cycle frigorifique à plusieurs effets est d'augmenter la performance du système à absorption, ou accroître leur domaine d'utilisation possible, en faisant usage de systèmes à étages, ou effets multiples. Les variantes possibles sont nombreuses surtout si l'intérêt porte sur la production simultanée de froid et de la chaleur (thermo frigo pompes à titre d'exemple). Le cycle frigorifique à absorption à double effet a été introduit durant la période allant de 1956 à 1958 [13]. La figure I.10 montre un tel cycle utilisant le système LiBr/eau, où la vapeur du réfrigérant générée par le générateur à premier effet est condensée à haute pression dans le générateur à second effet. Cependant la chaleur rejetée est utilisée pour produire une vapeur supplémentaire du réfrigérant à partir de la solution provenant du générateur à premier effet. (La chaleur issue de la condensation de la vapeur du réfrigérant est utilisée dans le générateur II).

Si toute la vapeur du réfrigérant provenant du premier générateur se condense dans le second générateur, le COP du système devrait être deux fois celui du système à simple effet correspondant [14].

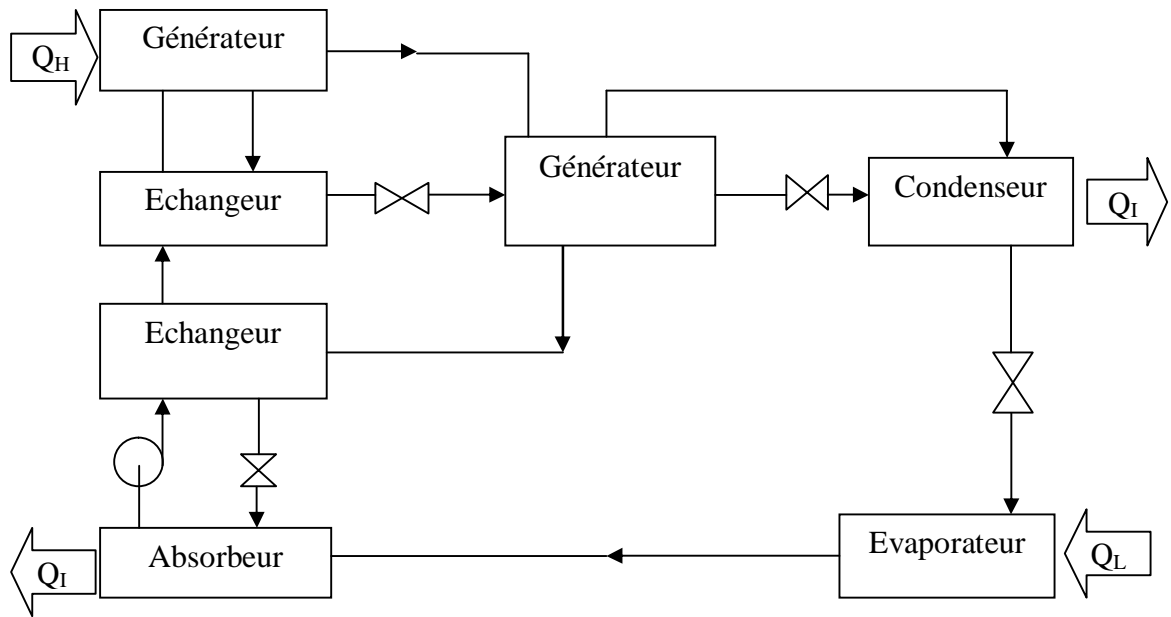


Figure I.11 Cycle frigorifique à absorption à double effet opérant à trois niveaux de pression : haute, modérée et basse

Lorsque le couple LiBr/eau est remplacé par eau/NH₃, la pression maximale dans le générateur à premier effet sera extrêmement haute, et le cycle à absorption à double effet sera configuré comme le montre la figure I.11 (la chaleur d'absorption issue de l'absorbeur II est fournie au désorbeur I dans le but de contribuer au processus de séparation du réfrigérant).

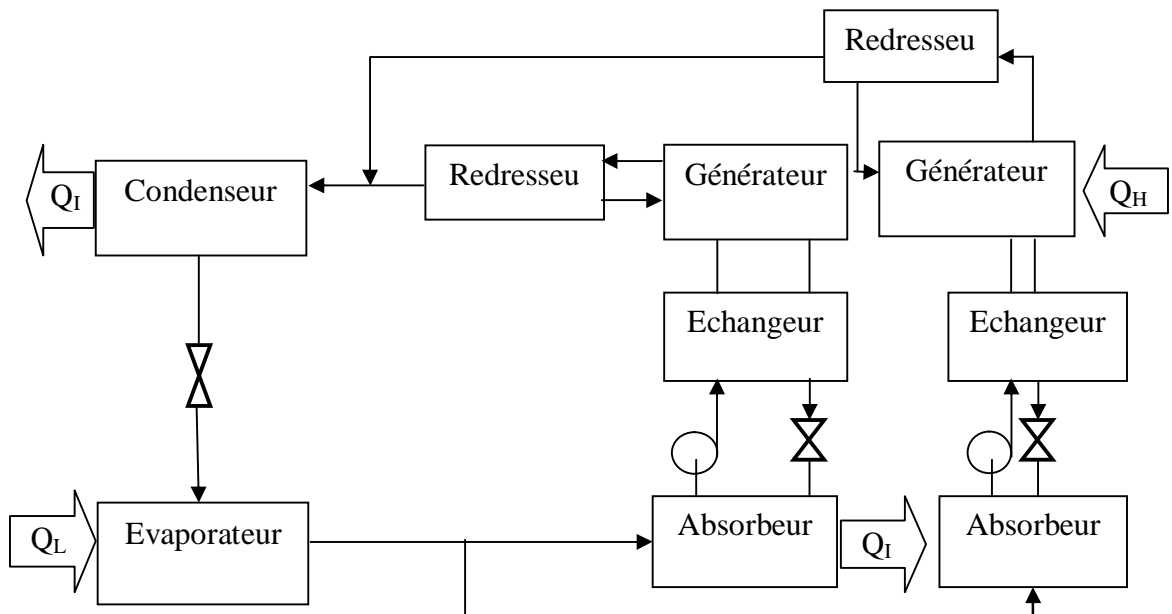


Figure I.12 Cycle frigorifique à absorption à double effet opérant à deux niveaux de Pression [11]

En utilisant (Eau/NH₃), paradoxalement au système fonctionnant avec LiBr/water, ce système peut être considéré comme une combinaison de deux cycles à simple effet séparés.

L'évaporateur et les condenseurs des deux cycles sont intégrés ensemble comme une unité unique, ce qui permet de se limiter à deux niveaux de pressions seulement dans ce système, avec une pression maximale limitée à un niveau acceptable (La chaleur issue d'une source extérieure est fournie au générateur II seulement). Comme l'eau est l'agent absorbant il n'ya aucun problème de cristallisation dans l'absorbeur qui peut opérer à une haute température et rejeter la chaleur au générateur I. Cette configuration de la machine à absorption est classifiée sous la catégorie des systèmes à double effet à Co-courant. [11]

Des études théoriques du système à absorption à double effet ont été menées pour différents fluides de travail [14, 15]. Aussi plusieurs types de cycle à absorption à multi effet ont été analysés tel que le cycle à absorption à triple effet (Figure I.12) [16], et le cycle à absorption à quadruple effet [17]. Cependant il faut noter que l'amélioration du COP n'est pas directement liée à la différence de nombre d'effets, car lorsque ces derniers augmentent le COP de chaque effet ne sera pas assez grand par rapport à un système à simple effet. En outre, un grand nombre d'effets conduit à un cycle avec design complexe, par conséquent seul le cycle à double effet a été commercialisé [18].

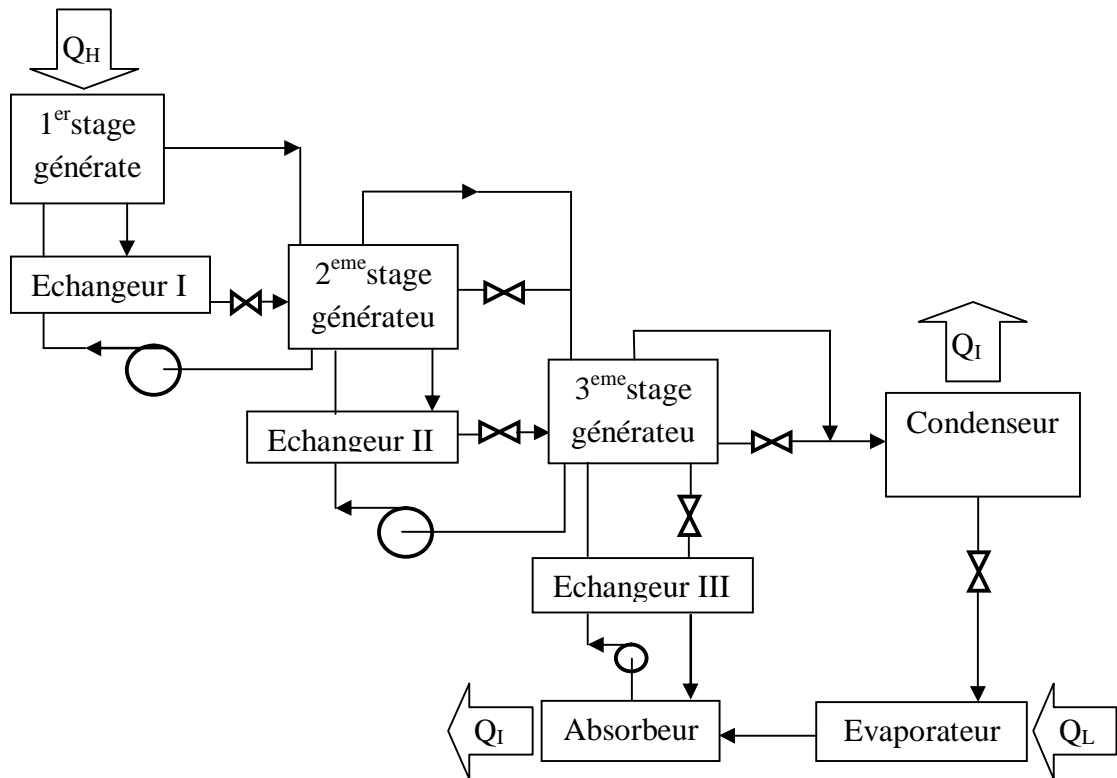


Figure I.13 Cycle frigorifique à absorption à triple effet opérant à quatre niveaux de Pression.

I.3.2.5.B. Machine à absorption alternative

Différentes configurations innovantes des machines à absorption ont été proposées et rapportées dans la littérature, avec comme but essentiel le développement des systèmes classiques, tout en axant sur la modification de leur design afin d'améliorer leur performance et d'identifier des mélanges alternatifs, élargissant ainsi leur domaine d'application. Quelques un parmi ces systèmes à absorption innovants sont décrits dans la section suivante. [11]

I.3.2.5.B.a Pompe à chaleur à absorption à opérations alternatives

Une pompe à chaleur à absorption opérant en alternatif schématisée sur la figure I.13 est construite pour des applications de chauffage de locaux [19]. Le fluide utilisé est un mélange ternaire de LiBr / (eau-CH₃OH), ce système est conçu pour récupérer de la chaleur à partir de l'air ambiant. Une puissance de 10kW de gaz brûlé peut le faire fonctionner. Il n'ya aucune pompe mécanique dans ce cycle ce qui le rend plus réalisable et potentiellement moins cher qu'un dispositif opérant en continu. Bien que le cycle fonctionne périodiquement, la chaleur est fournie en continu et alternativement dans chaque mode d'opération par le condenseur, l'absorbeur et le flux du gaz. Le cycle opère en trois modes différents :

- Mode bouilleur: les vannes 1 et 2 sont fermées tandis que le brûleur est ouvert, la solution circule donc entre le générateur et l'absorbeur en utilisant une pompe à bulle. Le réfrigérant vapeur sortant du générateur passe au condenseur, et la chaleur produite sera celle issue du condenseur et de l'économiseur du flux de gaz.
- Mode générateur : après la condensation du réfrigérant liquide suffisant dans le condenseur, la vanne 1 est ouverte permettant le transfert du réfrigérant liquide vers l'évaporateur, et similairement au mode de bouilleur la chaleur produite est cédée par le condenseur et l'économiseur du gaz ;
- Mode absorption : après le transfert complet du réfrigérant du condenseur à l'évaporateur, la vanne 1 sera fermée tandis que la vanne 2 sera ouverte et le brûleur de gaz est éteint, le réfrigérant liquide s'évapore dans l'évaporateur en utilisant une quantité de chaleur de l'environnement, la vapeur issue de l'évaporateur est transférée à l'absorbeur, où elle sera absorbée produisant ainsi un effet thermique d'où un saut de thermique ΔT ; relativement des basses valeurs de COP ont été obtenues.

Pour des opérations en pompe à chaleur des valeurs du COP variant autour de 1.2 (tenant en compte toutes les pertes) ont été revendiquées si le cycle opère à une température ambiante de 0°C pour produire l'eau chaude entre 30°C et 60°C. [11]

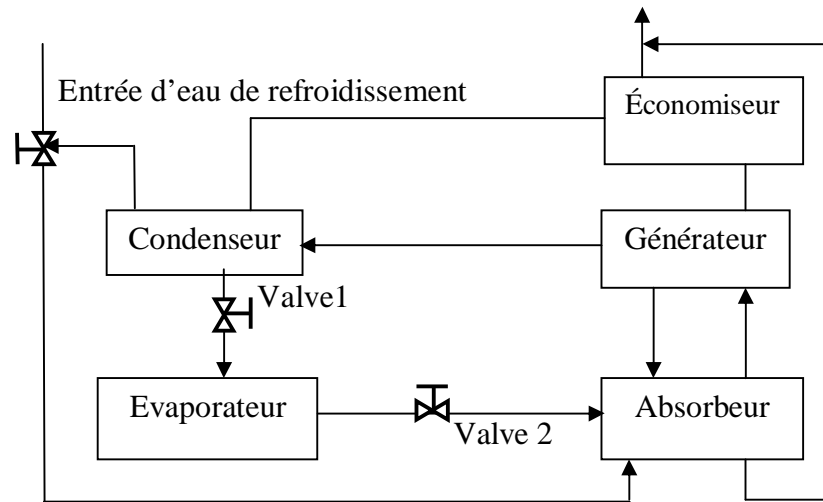


Figure I.14 Pompe à chaleur à absorption à opérations alternatives [11]

I.3.3 Les échangeurs de chaleur

I.3.3.1 Description

L'échangeur de chaleur (ou échangeur thermique) occupe une place primordiale et indispensable dans tous les systèmes thermiques, qu'il soit pour un usage industriel (chimie, pétrochimie, sidérurgie, agroalimentaire, production d'énergie), pour l'automobile, l'aéronautique ou le bâtiment résidentiel ou tertiaire. De manière générale, on s'accorde à dire que plus de 90% de l'énergie thermique utilisée dans les procédés industriels transite au moins une fois par un échangeur de chaleur. [20]

I.3.3.2 Principal but et fonctions d'un échangeur thermique

La fonction principale de l'échangeur thermique est de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre à des niveaux de températures distincts. Les fonctionnalités des échangeurs thermiques sont extrêmement diverses et variées : les principales en sont les suivantes [21] :

1-Préchauffeur ou refroidisseur d'un liquide ou d'un gaz (air par exemple) pour lesquels de très nombreux exemples pourraient être rappelés et qui se caractérise par une fonction simple: le contrôle de la température du fluide en un point particulier du procédé.

2-Récupérateur thermique qui permet d'introduire la récente notion de valorisation de l'énergie thermique d'un procédé. La fonction de cet échangeur est alors d'assurer le transfert d'une capacité thermique maximale afin de permettre une valorisation maximale du rejet thermique sur des critères énergétiques et économiques.

3-Réfrigérants (et aéro-réfrigérant lorsque le vecteur de refroidissement est l'air, réfrigérant sur eau) qui assure la dissipation de l'énergie thermique non valorisable d'un procédé vers le milieu extérieur – fonction essentielle dans de nombreux processus.

4-Capteurs ou émetteurs thermiques dont les équipements ont pour fonction, respectivement, d'associer réception d'énergie thermique et transmission vers l'usage. Les exemples les plus courants sont les capteurs solaires thermiques ainsi que les radiateurs domestiques qui assurent le confort thermique dans un bâtiment.

5-Déshumidificateurs ou condenseurs partiels qui assurent la condensation d'une vapeur en mélange avec un gaz incondensable pour obtenir, en fin d'opération, un gaz appauvri en vapeur : l'exemple rencontré fréquemment est le déshumidificateur d'air humide qui permet d'assurer un contrôle de l'humidité de l'air en sortie de Centrale de Traitement d'Air (CTA). D'autres exemples industriels peuvent être cités comme la captation de vapeurs organiques dans les cryo-condenseurs ou les condenseurs de buées fréquemment rencontrés dans les installations de génie chimique.

6-Evaporateurs qui assurent l'évaporation complète ou partielle d'un liquide dans différents procédés notamment de production d'énergie mécanique (cycle moteur de Rankine, de Hirn) et de production frigorifique : cycle à compression (PAC), réfrigérateur. Condenseurs qui assurent la condensation complète ou partielle d'un gaz (vapeur) là encore par exemple pour la production d'énergie mécanique et frigorifique ;

7-Equipements qui permettent la congélation et la fusion d'une phase liquide ou vapeur grâce à une paroi refroidie en dessous du point triple du fluide. Ces dispositifs sont utilisés pour assurer la séparation de plusieurs corps, assurer le stockage d'énergie thermique (stockage de glace ou stockage par MCP), produire une phase solide pour divers usages.

8-Le caloduc (Heat Pipe), véritable système thermique diphasique, qui permet notamment d'assurer la dissipation de la chaleur générée par les éléments électroniques (Microprocesseur ou électronique embarquée), la récupération d'énergie, le maintien en température stable et uniforme. [22]

I.3.3.3 Technologie des échangeurs

Difficile d'être exhaustif sur la description technologique des échangeurs tant la diversité de ces appareils et de leurs variantes en fonction des constructeurs est importante.

Les échangeurs tubulaires (tubes et calandre, coaxial et autres) sont les plus répandus et représentaient, en 1998, quasiment 50% des parts de marché en Europe. Les échangeurs dits compacts (échangeurs à plaques et joints, par exemple), qui ont connus une croissance importante dans les années 1990, tendent à faire diminuer ce pourcentage mais la grande adaptabilité des échangeurs tubulaires (tenue en pression et en température, diversité des matériaux) fait qu'il est difficile d'assurer leurs remplacements par d'autres technologies (Figure I.14) [23]

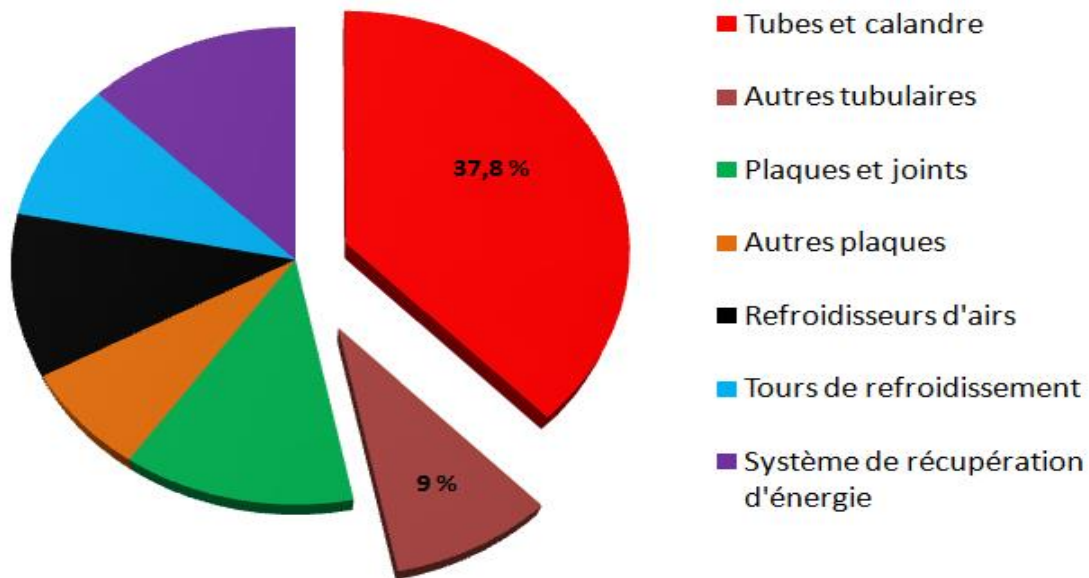


Figure I.15 Répartition en pourcentage des recettes par type d'échangeur sur le marché totale de l'échangeur en Europe (données 1998)

I.3.3.4 Fonctionnement général d'un échangeur thermique

Il existe de nombreuses technologies d'échangeurs de chaleur, mais tous fonctionnent suivant les mêmes processus physiques d'échanges, c'est-à-dire :

- la conduction qui représente les échanges à travers les parois (le plus souvent métalliques),
- la convection qui représente les échanges entre les fluides et les parois,

-le rayonnement qui représente les échanges radiatifs entre les fluides et les parois (principalement infra rouge) bien que ce dernier soit souvent négligeable (car pris en compte uniquement pour un fonctionnement à haute température). On distingue également trois modes d'écoulement différents :

- celui à co-courants : écoulements parallèles des fluides et dans la même direction ;
- celui à contre-courants : écoulements parallèles des fluides mais dans des directions inverses
- et celui à courants croisés : écoulements perpendiculaires entre les deux fluides.

Le mode de circulation influe également sur la qualité et l'efficacité du transfert. Un échangeur dit anti-méthodique (ou à co-courants) signifie que l'entrée des deux fluides (chaud et froid) se situe du même côté de l'échangeur. La configuration dite méthodique est celle où les fluides circulent à contre-courants. On l'appelle méthodique car c'est cette configuration qui permet d'obtenir les meilleures performances d'échangeurs. En effet, pour une circulation à co-courant des fluides, la température de sortie du fluide chaud ne pourra pas être plus basse que la température de sortie du fluide froid tandis qu'à contre courant, il est possible d'abaisser la température du fluide chaud à une valeur qui tendra vers la température d'entrée du fluide froid. Des représentations graphiques illustreront plus loin ces distinctions. [23].

I.3.3.5 Classification des échangeurs

a) Echangeurs tubes et calandres

Les échangeurs à tubes et calandre sont parmi les plus utilisés dans les industries de procédé et particulièrement dans la chimie et le raffinage.

Dans les échangeurs à tubes et calandre, l'un des fluides appelé fluide côté tubes circule à l'intérieur d'un ensemble de tubes parallèles appelé faisceau tubulaire. Ces tubes sont enfermés dans une enveloppe appelée calandre. L'autre fluide appelé fluide côté calandre circule à l'intérieur de la calandre mais à l'extérieur des tubes. Les tubes et la calandre sont donc soumis à la pression des fluides et doivent donc être construits pour y résister.

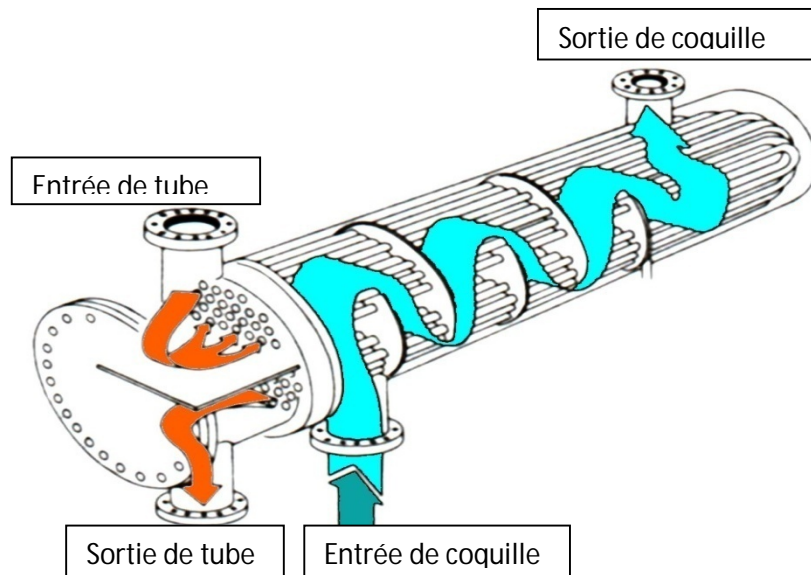


Figure I.16 Schéma d'un échangeur à tubes et calandre

b) Echangeurs à plaques

L'échangeur à plaques est un type d'échangeur de chaleur qui connaît un usage croissant dans l'industrie. Il est composé d'un grand nombre de plaques disposées en forme de millefeuilles et séparées les unes des autres d'un petit espace (quelques millimètres) où circulent les fluides. Le périmètre des plaques est bordé d'un joint qui permet par compression de la structure d'éviter les fuites.

Les plaques ne sont pas plates, mais possèdent une surface ondulée selon un schéma bien précis afin de créer un flux turbulent synonyme d'un meilleur transfert de chaleur, mais permet également de canaliser les fluides se déplaçant à la surface vers les coins de la plaque. Le fluide se déplace, par exemple, du coin inférieur gauche vers le coin supérieur droit de la plaque, où un orifice lié à un tuyau lui permet de passer de l'autre côté de la plaque et de sauter une couche du millefeuille (un espace entre 2 plaques) avant de s'écouler à nouveau le long de la plaque suivante. Ainsi chaque fluide ne circule parallèlement à une plaque que tous les 2 espaces.

L'avantage de ce type d'échangeur est sa simplicité qui en fait un échangeur peu coûteux et facilement adaptable par ajout/retrait de plaques afin d'augmenter/réduire la surface d'échange en fonction des besoins (Attention : la surface ne peut être augmentée de manière infinie à cause de la perte de charge). La surface en contact avec l'extérieur est réduite au minimum, ce qui permet de limiter les pertes thermiques et l'étroitesse de l'espace où circulent les fluides ainsi que le profil des plaques assurent un flux turbulent qui permet un excellent transfert de chaleur.

Toutefois ces derniers paramètres entraînent une importante perte de charge qui limite le nombre de passage des fluides entre les plaques. Cette perte de charge ne peut être compensée par une pression d'entrée des fluides élevée ($<2,5$ MPa) [24] car une trop grande pression causerait des fuites au travers des joints placés entre les plaques. La différence de températures entre les 2 fluides ne doit pas être trop grande également pour éviter une déformation des plaques par dilatation/contraction de ces dernières qui empêcherait les joints entre les plaques d'être parfaitement étanches.

La turbulence permet de réduire l'encrassement de la surface d'échange de 10-25 % par rapport à un échangeur à faisceau tubulaire. Comparativement à un échangeur à faisceau tubulaire la surface d'échange est inférieure de 50 % pour le même transfert de chaleur [24].

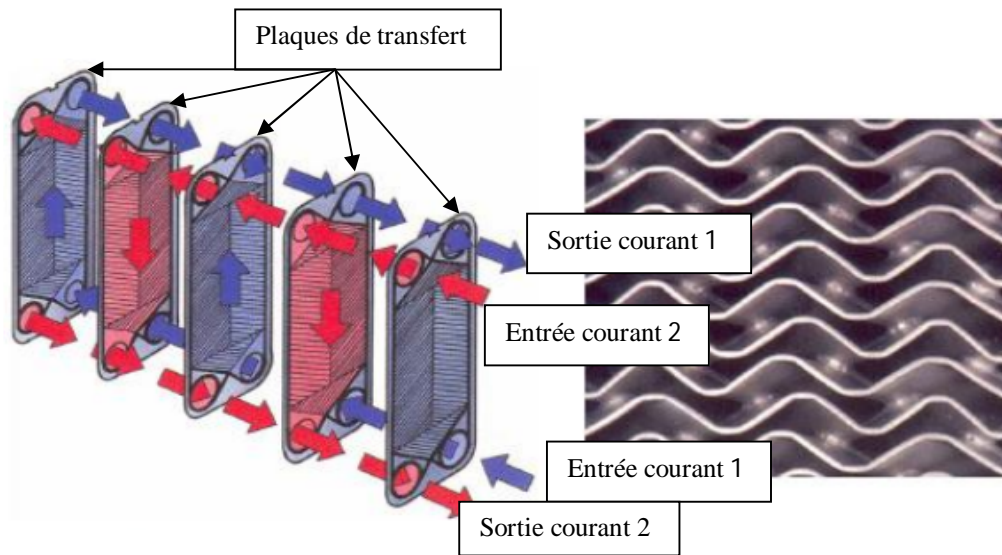


Figure I.17 schéma représente un échangeur à plaques

c) Echangeurs coaxiaux

Un échangeur coaxiale est un échangeur Tubes avec des ailettes internes pour augmenter la surface d'échange.



Figure I.18 Exemple d'un Echangeur de chaleur coaxiale

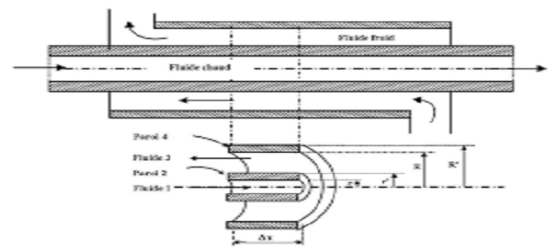


Figure I.19 schéma d'un échangeur coaxiale

d) Echangeurs 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.

Ce type d'échangeur est utilisé pour le chauffage dans les bâtiments : de l'eau est chauffée dans l'installation de chauffage et circule dans des radiateurs qui sont des échangeurs à ailettes. On utilise également ce type d'installation pour refroidir les moteurs de voiture ou encore les moteurs en tout genre. Dans ce dernier cas, la chaleur due aux frottements et à l'induction magnétique (cas d'un moteur électrique) est directement transférée à la protection extérieure du moteur qui possède des ailettes fixées à sa surface.

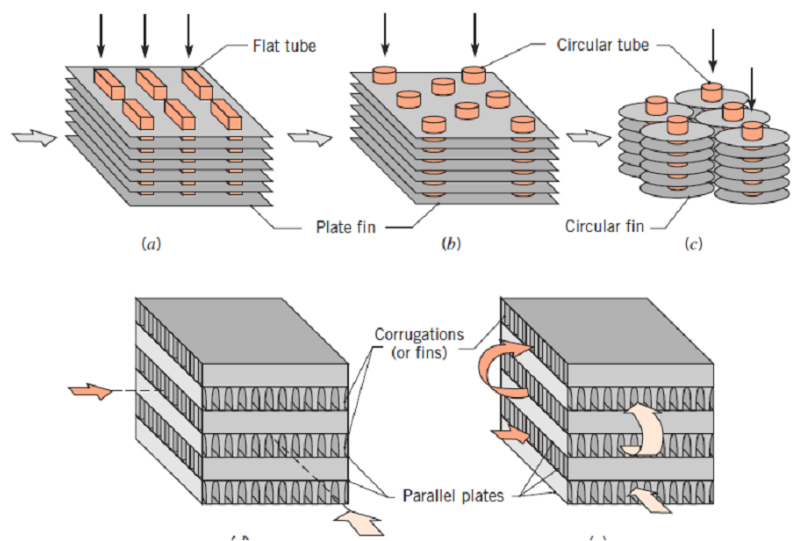


Figure I.20 Schéma d'un échangeur de chaleur à ailettes

Le transfert thermique est limité notamment du côté du fluide de refroidissement par manque d'un système de circulation : l'air circule principalement par convection naturelle autour de l'échangeur. Cette limitation peut toutefois être supprimée par ajout d'un système de ventilation. Cet échangeur est très simple et peut prendre des formes particulières, ce qui le rend intéressant dans l'électronique. [25].

e) Echangeur à spirales

Un échangeur à spirales consiste en 2 plaques de métal enroulées de manière hélicoïdale pour former une paire de canaux en spirale. Le diamètre de l'échangeur est relativement grand, avec une surface d'échange maximale d'environ 450 m² pour un diamètre de 3 m, ce qui le place dans la catégorie des échangeurs non-compacts. L'échange de chaleur n'est pas aussi bon que celui de l'échangeur à plaques, car la surface d'échange ne possède pas

en règle générale de profil, mais pour une même capacité d'échange, un échangeur spiral nécessite 20 % de moins de surface d'échange qu'un échangeur à faisceau tubulaire [24].

Il est utilisable pour les liquides visqueux ou pour les mélanges liquide-solide et possède une capacité auto-nettoyante garantissant un encrassement réduit par rapport à l'échangeur à faisceau tubulaire. Il ne peut travailler qu'avec des différences de températures et de pression limitées.

I.4. CHOIX DE SYSTEME DE REFROIDISSEMENT A ETUDIE

Dans ce mémoire on va travailler avec le système suivant :

- ✚ Capteur solaire thermique plan.
- ✚ Machine à absorption à simple effet.
- ✚ Un échangeur de chaleur standard.

I .5. CONCLUSION

Dans ce chapitre un état d'art sur le système de refroidissement solaire à absorption a été présenté, on a fait une description sur ce système et les différentes technologies de froid solaire ainsi que ses composants (les capteurs solaires, les machines frigorifiques à absorption, les échangeurs de chaleur).

Finalement, parmi toutes ces composantes citées on a choisi un système pour les études suivantes dans les prochains chapitres.