

# UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département De Génie Mécanique



## Mémoire Master Professionnel

Domaine: Science et Technologie

Filière: Génie Mécanique

Spécialité: Energétique

Présenté par :

Guebouz Younes

Zine Soufaine

Thème

# Etude d'un cycle de réfrigération tritherme à absorption

Soutenu publiquement

Le : 31/5/2017

Devant le jury:

Mr. *GERMIT TAHER*

President

UKM Ouargla

Mr. *DERGHOUT ZOHEIR*

Encadreur

UKM Ouargla

Mr. *ACHOURI El Hadj*

Examineur

UKM Ouargla

Année Universitaire : 2016 /2017

# *Remerciement*

*Toute la gratitude et le merci à Dieu Notre créateur qui nous a donné La force pour effectuer ce travail.*

*Nous tenons à témoigner de nous gratitude à nos chers parents pour leurs aides morale durant nos études.*

*Nous remerciment particulièrement à notre encadreur Monsieur DERGHOUT ZOHEIR pour son suivi durant la période de préparation de notre mémoire, son aide et ses conseils qui nos ont été très précieux.*

*A toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à :*

*Ma très chère mère,*

*Mon cher père,*

*Mes très chers frères et sœurs,*

*Toute ma famille : **Guerbouz***

*Et tous mes amis,*

***YOUNES***

*Je dédie ce travail à :*

*Ma très chère mère,*

*Mon cher père,*

*Mes très chers frères et sœurs,*

*Toute ma famille : **Zine***

*Et tous mes amis,*

***SOUFAINE***

*A tous nos collègues de la promotion*

*mécanique énergétique (2017).*

## ***Résume***

Le but de ce travail est de présenter la mise en place de la simulation d'une installation de climatisation solaire. Ces installations de rafraichissement sont simulées avec les composants existants dans la bibliothèque du code de calcul TRNSYS.

Dans notre travail, on a traité l'évolution de la température et les besoins énergétiques estivales d'une maison située à Ouargla, ainsi qu'une étude sur un cycle frigorifique à absorption alimenté par voie solaire a été faite.

Le remplacement des machines frigorifiques classiques est possible par des machines tritherme comme l'absorption a condition d'utilisée des capteurs solaires efficace avec des surfaces de captage acceptables.

## ***Abstract***

The aim of this work is to present the implementation of the simulation and of installation of conventional air conditioning. These cooling installations are simulated with the existing components in the library of the computer code TRNSYS.

In our work, we treated the change of the temperature and the needs energy in summer of a house located at Ouargla, as well as a study on an absorption refrigeration cycle supplied by solar way was made.

The replacement of the classical refrigerating machines is possible by machines tritherme as absorption has condition of used solar panels effective with acceptable surfaces of collecting.

## ***ملخص***

الهدف من هذا العمل هو تقديم تنفيذ محاكاة لتوصيل تجهيزات تكييف الهواء بالطاقة الشمسية, تجهيزات التبريد هذه خضعت للمحاكاة مع المكونات الموجودة في مكتبة برنامج الحساب TRNSYS. في عملنا هذا قمنا بمعالجة تطور درجة الحرارة والاحتياجات من الطاقة (التبريد) لمنزل في مدينة ورقلة, والدراسة كانت عن طريق دورة امتصاص التبريد تعمل بالطاقة الشمسية. من الممكن استبدال أنظمة التبريد التقليدية بأنظمة التبريد الحديثة مثل نظام الامتصاص في حالة استعمال ألواح تجميع الطاقة الشمسية تكون فعالة مع مساحة أسطح استشعار مقبولة.

# Sommaire

**Remerciement**

**Dédicace**

**Résumé**

**Liste des figures**

**Liste Des Tableaux**

**Nomenclature**

Introduction Générale..... 1

## **Chapitre 1 : Recherche Bibliographique**

1. Introduction.....	3
2. Généralités.....	3
2.1. Systèmes mécano-frigorifiques.....	3
2.2. Systèmes thermo-frigorifiques.....	3
3. Histoire des techniques du froid.....	4
3.1. Les premières machines.....	4
3.2. Les principes de production du froid.....	6
3.3. Applications industrielles du froid.....	6
4. Les modes de production du froid.....	6
4.1. Cycle de la réfrigération à compression mécanique.....	6
4.1.1. Principe de fonctionnement.....	7
4.1.2. Coefficient de performance.....	8
4.1.3. Les avantages.....	8
4.1.4. Les inconvénients.....	8
4.2. Installation frigorifique à ejecto-compression.....	9
4.2.1. Différents éléments de la machine.....	9
4.2.2. Principe de fonctionnement.....	10
4.3. Cycle de réfrigération à absorption.....	11
4.3.1 Principe de fonctionnement.....	12
4.3.2. Coefficient de performance.....	12
4.3.3. Les avantages.....	12

4.3.4. Les inconvénients.....	13
5. Critères de choix d'un fluide frigorigène.....	13
6. Conclusion.....	15

## **Chapitre 2 : Climatisation Solaire**

1. Généralités sur la climatisation.....	16
1.1. Définition de la climatisation.....	16
1.2. Principe de fonctionnement.....	17
1.3. Les différentes technologies de climatisation solaire.....	17
1.4. Installations climatisation solaire dans le monde .....	18
1.5. Différentes technologies de production de froid .....	19
2. Système à absorption.....	20
2.1. Description du système de climatisation par absorption.....	20
2.2. Différentes machines à absorption.....	20
2.2.1. Machines à simple effet.....	20
2.2.2. Machine à double effet.....	21
2.2.3. Principe de fonctionnement.....	22
2.3. Les avantages.....	25
2.4. Les Inconvénients.....	25
2.5. Les rendements.....	25
3. Les capteurs solaires appliqués aux techniques de rafraîchissement solaire.....	25
3.1. Les capteurs solaires photovoltaïques.....	26
3.2. Les capteurs solaires thermiques.....	26
3.3. Les différentes technologies des capteurs solaires thermiques.....	27
3.3.1. Principes.....	27
3.3.2. Selon le fluide de travail.....	27
3.3.2.1. Les capteurs solaires à eau.....	27
3.3.2.2. Les capteurs solaires à air.....	27
3.3.3. Selon la Forme.....	28
3.3.3.1. Les capteurs solaires plans.....	28
a) Les capteurs plans sans vitrage.....	28
b) Les capteurs plans vitrés.....	29
3.3.3.2. Les capteurs sous vide.....	30

3.3.4. Capteurs solaires à concentration.....	31
3.3.4.1. Concentrateurs cylindro- paraboliques.....	31
3.3.4.2. Concentrateurs paraboliques.....	32
3.3.4.3. Système de centrale à tour (héliostat).....	32
3.4. Bilan thermique et rendement d'un capteur solaires plan.....	33
3.5. Le Rendement D'un Capteur Solaire.....	34
5. La consommation d'énergie en Algérie.....	35
5.1. Consommation finale par produit Energétique.....	35
5.2. Répartitions de la consommation d'énergie par secteur.....	36

### **Chapitre 3 : Résultats De Simulation Et Discussion**

1. Aperçu sur TRNSYS .....	37
1.1. Description du logiciel.....	37
1.2. TRNSYS Simulation Studio.....	38
1.3. TRN Build.....	38
1.2. Avantages du logiciel TRNSYS.....	39
1.3. Inconvénients du logiciel TRNSYS.....	39
2. Résultats de simulation.....	39
2.1. La variation de température ambiante extérieure pendant l'année.....	40
2.2. La variation de la durée de l'ensoleillement pendant l'année.....	41
2.3. La variation du rayonnement diffus et du rayonnement global pendant l'année.....	42
2.4. La variation de rayonnement global pendant l'année.....	43
3. Simulation TRNSYS .....	44
3.1. La climatisation solaire thermique.....	44
3.2. Description du rôle des composants de l'installation.....	45
3.2.1. Conditions météorologiques.....	45
3.2.2. Système solaire.....	45
1. Capteur solaire.....	45
2. Tank .....	45
3. Pompe .....	45
3.2.3. Machine à absorption.....	45
3.2.4. Construction de la maison.....	46

3.3. Les types de TRNSYS.....	46
Conclusion générale .....	51

## **Bibliographie**



## Liste des figures

N°	Titre	page
Fig. (1-1)	Schéma d'un Cycle à compression mécanique	6
Fig. (1-2)	Diagramme enthalpique du cycle frigorifique à compression mécanique	8
Fig. (1-3)	Schéma simplifié d'une machine frigorifique tri-thermes à éjecto- compresseur	9
Fig. (1-4)	Système frigorifique à absorption	11
Fig. (2-1)	Procédé thermodynamique de refroidissement d'un bâtiment	16
Fig. (2-2)	Principe de fonctionnement de rafraichissement solaire	17
Fig. (2-3)	Répartition des installations de climatisation solaire par type	18
Fig. (2-4)	Différentes technologies de production de froid à partir de l'énergie solaire	19
Fig. (2-5)	Cycle à simple effet avec échangeur de solution (EX) qui permet de Réduire la chaleur fournie au générateur	21
Fig. (2-6)	Cycle à absorption à double effet (Ecoulement en déroulement fonctionnant à trois Niveaux de pression)	22
Fig. (2-7)	fonctionnements d'un évaporateur	23
Fig. (2-8)	fonctionnements d'un system à absorption	24
Fig. (2-9)	Schéma de principe d'une photopile	26
Fig. (2-10)	Schéma de principe d'un capteur à air fixé à un mur (mur tombé)	28
Fig. (2-11)	Capteurs plans sans vitrage	29
Fig. (2-12)	Schéma de principe d'un capteur plan vitré	30
Fig. (2-13)	Schéma de principe d'un capteur sous vide	30
Fig. (2-14)	Concentrateur cylindro-parabolique.	31
Fig. (2-15)	Concentrateur parabolique	32
Fig. (2-16)	Système de centrale à tour	33
Fig. (2-17)	Structure de la consommation finale par produit	35
Fig. (2-18)	Structure de la consommation finale par secteur d'activité	36
Fig. (3-1)	TRNSYS simulation studio	38
Fig. (3-2)	Interface du logiciel TRNBuild	39

Fig. (3-3)	La variation de température durant une année a Ouargla	40
Fig. (3-4)	La variation de température durant une année a Alger	40
Fig. (3-5)	La variation de durée de l'ensoleillement et durée astronomique de jour durant une année a Ouargla	41
Fig. (3-6)	La variation de durée de l'ensoleillement et durée astronomique de jour durant une année a Alger	41
Fig. (3-7)	La variation de rayonnement diffus et rayonnement global durant une année a Ouargla	42
Fig. (3-8)	La variation de rayonnement diffus et rayonnement global durant une année a Alger	42
Fig. (3-9)	La variation de rayonnement global durant une année a Ouargla	43
Fig. (3-10)	La variation de rayonnement global durant une année a Alger	43
Fig. (3-11)	Les composants de l'installation thermique	44
Fig. (3-12)	Besoins de chauffage et climatisation	47
Fig. (3-13)	variation de température de capteur	47
Fig. (3-14)	variation d'énergie utile produit par le capteur	48
Fig. (3-15)	variation de COP d'une machine a absorption	48
Fig. (3-16)	variation de COP (Performance Map Collector) d'une machine a absorption	49

### Liste des tableaux

Tab (3-1)	Paramètres du capteur solaire plan	51
Tab (3-2)	Les types TRNSYS	52

## Nomenclature

Nomenclature	Désignation	Unité
COP	coefficient de performance	-
T	température	°C, K
W	Travail	KW
h	l'enthalpie	KJ/Kg
P	Pression	KPa
BP	basse pression	KPa
HP	haute pression	KPa
$Q_{eva}$	Production frigorifique de l'évaporateur	KW
$W_{comp}$	Travail de compresseur	KW
QB	la quantité de chaleur cédée par le bouilleur	KW
QC	le rejet de la chaleur de condensation	KW
TB	Température de bouilleur	°C, K
TC	Température de condenseur	°C, K
IA	flux solaire absorbé à la surface de l'absorbeur	W/m <sup>2</sup>
QU	puissance utile récupérée par le fluide caloporteur	KW h
QP	puissance perdue par convection et conduction à l'arrière du capteur	KW h
QS	la puissance stockée sous forme de chaleur vive dans les différents éléments du capteur	KW h

## Liste des abréviations

Abréviation	Désignation
HFC	hydro fluor carbone
HCFC	hydro chlorofluorocarbure
LiBr	Symbole chimique du bromure de lithium
PV	photovoltaïques
CESI	chauffe-eau solaire individuel
SSC	système solaire centralisé
TRNSYS	TRaNsient SYstems Simulation

## **Introduction Générale**

La consommation mondiale de l'énergie est sans cesse croissante. L'épuisement des ressources d'énergie fossiles et le réchauffement climatique de la planète ont conduit les différents pays à promouvoir les politiques de développement durable et de protection de l'environnement.

La grande partie de l'énergie consommée provient des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon, ...etc.) dont l'utilisation massive peut conduire à l'épuisement de ces réserves et menace réellement l'environnement. Cette menace s'est manifestée principalement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre par effet de serre. En effet, la grande préoccupation du monde actuel est d'atténuer cette pollution en essayant d'adapter les sources d'énergie classiques à des critères très sévères [1].

Entre 2000 et 2012, la consommation finale du secteur a progressé annuellement de 7.1%/an. Ce sont l'électricité, le gaz naturel, le GPL et le gasoil qui ont contribué à cette évolution avec des taux respectifs de 7.6%; 8.7%; 1.4%; 8%. Une forte demande d'électricité est à prévoir en raison des perspectives de développement de ce secteur. En ce qui concerne l'analyse de la consommation d'électricité par usages, l'éclairage et le froid totalisent 90%. Le chauffage et la cuisson représentent 60% de la consommation du GN [2].

En Algérie plus de 95% d'énergie électrique produite à travers les centrales thermiques, pour diminuer la consommation des énergies fossiles il faut utiliser les énergies renouvelables dans toutes les secteurs et particulièrement le secteur de bâtiments.

La situation géographique de l'Algérie favorise le développement et l'épanouissement de l'utilisation de l'énergie solaire. En effet, vu l'importance de l'intensité du rayonnement reçu ainsi que la durée de l'ensoleillement qui dépasse les dix heures par jour pendant plusieurs mois, notre pays peut couvrir certains de ses besoins par énergie solaire, ces avantages pourraient être profitables dans les régions isolées surtout dans les applications de la climatisation ou la consommation de l'énergie est très importante [1].

Et comme l'Algérie et surtout le sud d'Algérie est parmi les zones les plus chaudes au monde en s'intéresse beaucoup plus à la climatisation.

Notre travail consiste à étudier d'un cycle frigorifique à absorption grâce à son coefficient de performance qui est acceptable surtout avec la possibilité d'utiliser l'énergie solaire, afin d'exploiter cette énergie propre qui reste une source d'énergie renouvelable,

surtout que le sud d'Algérie par sa position géographique bénéficie d'une radiation solaire appréciable au cours de l'année.

Dans la première partie de cette étude bibliographique, nous abordons les différentes méthodes thermiques de production de froid, à partir de leurs coefficients de performances et leurs avantages et inconvénients.

Le deuxième chapitre explique les différentes méthodes thermiques de production de froid avec l'exploitation de l'énergie solaire, et présente les types de capteurs solaires les plus utilisés actuellement.

En fin dans le troisième chapitre nous abordons la simulation dynamique d'une installation de climatisation solaire à absorption à l'aide de logiciel de simulation TRNSYS.

## 1. Introduction

Dans ce chapitre nous vous voulons prendre une petite histoire pour les techniques de froid et une idée générale aux différents cycles de réfrigération comme : le cycle à compression mécanique, le cycle à absorption, à partir des schémas, diagrammes, principe de fonctionnement, les avantages et les inconvénients, et les coefficients des performances (COP) de chaque cycle de réfrigération.

## 2. Généralités

La génération du froid est devenue une technologie importante dans notre société. Elle est utilisée dans un grand nombre de secteurs (le secteur résidentiel, l'industrie agro-alimentaire et l'industrie chimique) et sous de nombreuses formes (conservation de denrées périssables, climatisation, refroidissement de procédés industriels, etc.). Elle n'est cependant pas sans effet sur notre milieu naturel.

La plupart des systèmes de réfrigération utilisent un fluide réfrigérant et ses changements de phase entre les états liquides et gazeux. Les principaux composants d'un tel système de réfrigération conventionnel sont le compresseur, le condenseur et l'évaporateur. Suivant les applications et les besoins, le système peut également comporter des éjecteurs, des condenseurs, des compresseurs et des évaporateurs multiples [3].

Dans le domaine de la réfrigération on distingue deux grandes classes :

### 2.1. Systèmes mécano-frigorifiques

Ceux qui consomment, pour fonctionner, de l'énergie mécanique, ou son équivalent. Parmi eux, deux familles se détachent :

- Les systèmes à compression de vapeurs liquéfiables ;
- Les systèmes utilisant des cycles à gaz : systèmes thermoélectriques.

### 2.2. Systèmes thermo-frigorifiques

Ceux qui consomment essentiellement de l'énergie thermique. On distingue, parmi ces systèmes frigorifiques consommant de l'énergie thermique :

- Les systèmes frigorifiques continus à absorption ;
- Les systèmes frigorifiques à adsorption et thermochimiques ;
- Les systèmes frigorifiques à éjection ou bien à éjecteur.

L'optimisation d'un système de réfrigération à éjecteur est intimement liée à celle de son organe principal, l'éjecteur. Afin d'en améliorer le rendement, on doit étudier les performances des éjecteurs ainsi que les divers types de réfrigérants utilisés pour améliorer le rendement.

Dans une perspective de développement durable et d'une utilisation de l'énergie plus rationnelle, trouver des technologies innovantes qui permettent de concilier les exigences d'une chaîne du froid et de climatisation efficace et la minimisation des impacts environnementaux constituent un enjeu important pour la recherche. Les gaz réfrigérants (R12, R22...etc.) sont des produits de consommation courante, tant au niveau domestique qu'industriel, qui participent grandement au réchauffement climatique. Aujourd'hui donc, ces gaz réfrigérants sont en majorité remplacés par les gaz HFC (hydro fluor carbone), sans chlore, qui sont souvent présentés comme " écologiques " car ils ne nuisent pas à la couche d'ozone. Cependant, le fluor qu'ils contiennent contribue grandement au réchauffement climatique, jusqu'à représenter 2% des émissions de gaz à effet de serre. Les émissions de HFC sont aujourd'hui contrôlées et jugées indésirables pour l'environnement, mais ces gaz, à défaut d'alternative aussi intéressante du point de vue économique, seront sans doute encore utilisés dans l'industrie du froid [3].

### 3. Histoire des techniques du froid

La production de froid à partir d'équipements conçus et fabriqués par les hommes débute au 19<sup>ème</sup> siècle [4].

#### 3.1. Les premières machines

En 1834, l'américain Jacob PERKINS invente une machine à compression de vapeur (en cycle fermé) en utilisant comme fluide frigorigène l'éthyle éther. Un seul prototype fut construit. Une vingtaine d'années plus tard, l'écossais James Harrison, dépose un brevet sur une idée très proche (en utilisant le même fluide frigorigène : l'éthyle éther). Ce fluide est inflammable et toxique mais c'est le seul fluide qui sera utilisé dans les quelques machines à compression fabriquées jusqu'à la fin du siècle [4].

Durant cette période deux autres principes vont être utilisés pour la production artificielle de froid : les cycles à air et les cycles à absorption.

La machine à absorption a été inventée en 1859 par le français Ferdinand Carré qui choisit comme fluide frigorigène l'ammoniac. Le succès de cette machine fut rapide, tout particulièrement aux Etats-Unis. Cette machine domina largement les autres types de machines jusqu'en 1875.

On notera que la théorie sur les systèmes à absorption fut développée bien plus tard, en 1913, par l'allemand Edmund Altenkirch.

Les machines à compression ne connurent une réelle industrialisation qu'à partir de 1870 quand des fluides frigorigènes moins dangereux que l'éthyle éther furent proposés: dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), chlorure de méthylène, dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ).

Ce dernier fut largement utilisé dans les transports maritimes à partir de 1890 en remplacement des machines à air. Ainsi la deuxième moitié du 19e siècle fut la période des pionniers de la réfrigération qui surent fabriquer et utiliser les premiers équipements... sans pour autant avoir une appréhension scientifique des phénomènes dont ces machines étaient le siège [4] .

### 3.2. Les principes de production du froid

Produire du froid, c'est tout simplement absorber de la chaleur à une température inférieure à la température ambiante. Ainsi le refroidissement d'un corps quelconque en dessous de la température ambiante nécessite l'utilisation d'un mécanisme endothermique.

La chaleur alors extraite du corps est ensuite rejetée dans le milieu ambiant: air ou eau. Parmi les nombreux mécanismes sont endothermiques, diverses transformations peuvent être citées [4] :

- Les procédés thermodynamiques tels que la dissolution de corps solides dans un liquide (eau, par exemple) ou dans un solide (glace, par exemple) :
  - La détente isenthalpique ou isentropique d'un gaz ;
  - L'évaporation d'une phase liquide, par exemple dans un cycle à absorption ou à compression ;
  - la fusion ou sublimation d'une phase solide.



- les procédés électriques ou magnétiques tels que le refroidissement thermoélectrique par Effet Peltier ou la désaimantation adiabatique.

### 3.3. Applications industrielles du froid

- **Domaine médical** : cryochirurgie, conservation de certains produits, organes ;
- **Industries alimentaires** : conservation des aliments, pasteurisation des liquides ;
- **Industries chimiques et pétrochimiques** : liquéfaction des gaz pour le transport, déparaffinage, débenzolage ;
- **Génie civil** : refroidissement des bétons, congélation des sols aquifères ;
- **Conditionnement des locaux** : rafraîchissement de l'air, conditionnement des patinoires, canons à neige ;
- **Laboratoires d'essai et de recherche** : étude des matériaux et comportement de la matière à très basse température ;
- **Production de neige carbonique** : maintien du froid à basse température (-80 C) [5].

## 4. Les modes de production du froid

### 4.1. Cycle de la réfrigération à compression mécanique

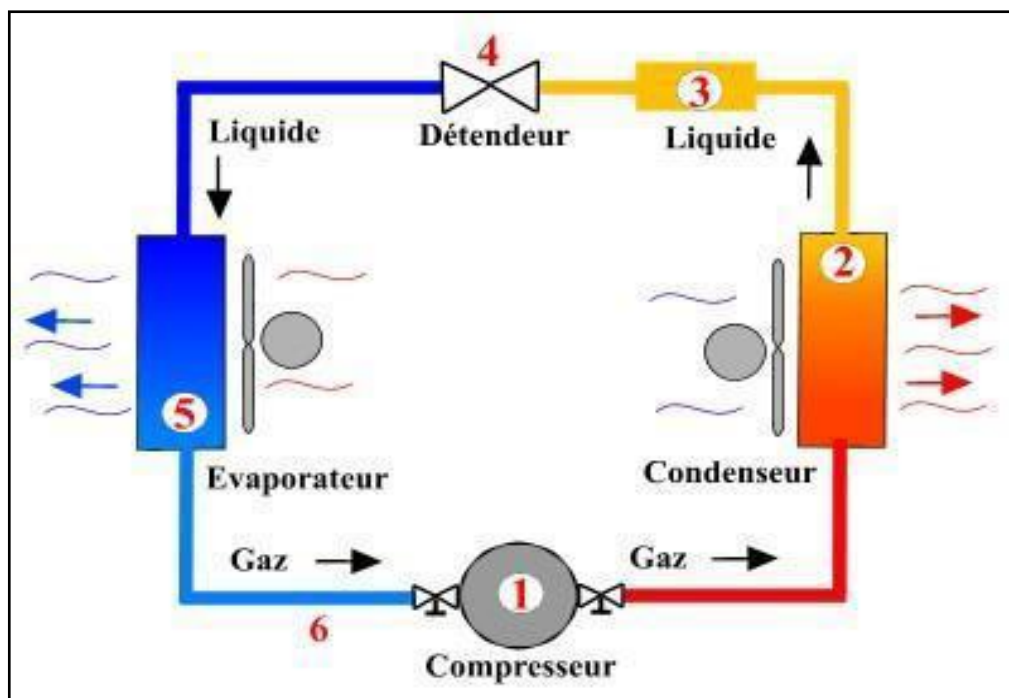


Figure 1.1 : schéma d'un Cycle à compression mécanique [1]

#### 4.1.1. Principe de fonctionnement de cycle à compression mécanique

- **Dans le compresseur** : le fluide frigorigène arrive à l'entrée du compresseur à l'état gazeux, sous basse pression et basse température. La compression permet d'élever sa pression et sa température. En théorie, la compression est adiabatique (ou isentropique), mais elle ne l'est pas en pratique.

Un compresseur réel présente des pertes importantes.

D'une part ce sont les pertes volumétriques, dues [6] :

- à la dilatation du gaz d'aspiration à son entrée dans le compresseur dont les parois sont plus chaudes (enroulement du moteur, pistons, cylindre, etc.) ;
- aux fuites entre le piston et le cylindre ;
- aux fuites dans les soupapes à l'espace mort du cylindre ; le surplus de gaz qui se dilate lors de l'aspiration empêche le remplissage complet avec du fluide frigorigène nouvellement aspiré.

D'autre part, ce sont les pertes mécaniques dues aux frictions entre les pièces mobiles [6].

- **Dans le condenseur**, le gaz chaud cède sa chaleur à l'eau du circuit extérieur. Les vapeurs de fluide frigorigène se refroidissent ("désurchauffe"), puis le fluide se condense. Le fluide liquide se refroidit de quelques degrés (sous-refroidissement) avant de quitter le condenseur.
- **Dans le détenteur** : le fluide subit une détente isenthalpique, Le fluide frigorigène se vaporise partiellement, ce qui abaisse sa température.
- **Dans l'évaporateur**, le fluide frigorigène s'évapore totalement en absorbant la chaleur provenant du circuit d'eau qui se refroidit. Dans un deuxième temps, le gaz formé est encore légèrement réchauffé par le fluide extérieur ; c'est ce qu'on appelle la phase de surchauffe.

Sous la courbe « en cloche » se situe le mélange liquide-vapeur. A gauche de la cloche, le fluide est à l'état liquide (il se "sous-refroidit"). A droite, le fluide est à l'état vapeur (il surchauffe).

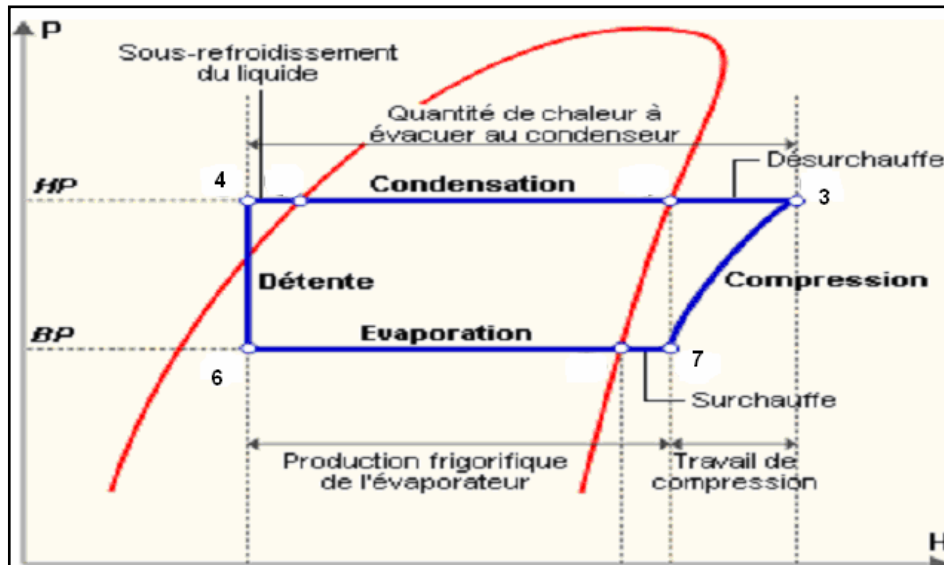


Figure 1.2 : Diagramme enthalpique du cycle frigorifique à compression mécanique [6].

#### 4.1.2. Coefficient de performance

Coefficient réelle : 
$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{Eva}}}{W_{\text{comp}}} \quad (1)$$

Avec :

$Q_{\text{Eva}}$  : Production frigorifique de l'évaporateur.

$W_{\text{comp}}$  : Travail de compresseur.

#### 4.1.3. Les avantages

- ✓ Montée rapide en froid et froid plus intense en cas de forte chaleur extérieur ;
- ✓ Possibilité de fabriquer des appareils d'un volume important 300 litres et plus ;
- ✓ Besoin d'une aération arrière moins importante qu'avec un réfrigérateur à absorption.

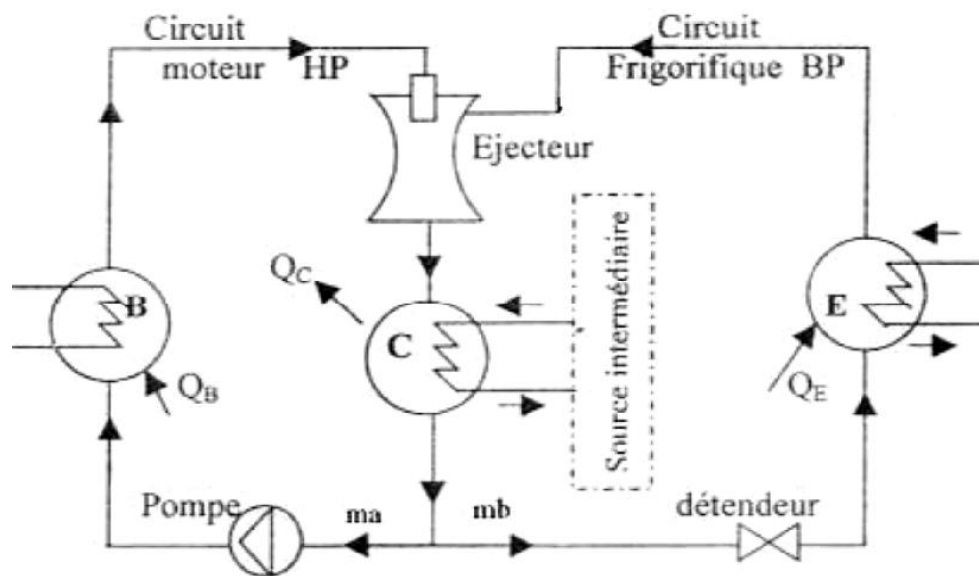
#### 4.1.4. Les inconvénients

- Bruit régulier (compresseur=moteur). Notez que les compresseurs d'aujourd'hui ont fait d'énormes progrès et qu'un appareil à compression de qualité fait moins de bruit qu'un PC allumé toute la journée dans bureau ;
- Consommation électrique supérieur à un frigo à absorption à volume équivalent ;
- Source unique d'énergie : besoin de courant pour alimenter le moteur électrique.

## 4.2. Installation frigorifique à ejecto-compression

La machine frigorifique à éjecto-compresseur comporte quatre éléments principaux (bouilleur, éjecteur, condenseur, et l'évaporateur). Une machine à éjecto-compresseur en circuit fermé se compose de deux boucles : l'une motrice, l'autre frigorifique.

Précisons tout d'abord qu'une telle machine utilise un compresseur statique, dénommé éjecteur, qui utilise comme énergie motrice de la vapeur du fluide primaire [7].



**Figure 1.3** : Schéma simplifié d'une machine frigorifique tritherme à éjecto-compresseur [6].

### 4.2.1. Différents éléments de la machine

- **Bouilleur**

La solution contenant le fluide primaire (ou moteur) reçoit la quantité de chaleur  $Q_B$  cédée par le bouilleur à une température  $T_B$  ce qui provoque la vaporisation du fluide. La boucle motrice comprend la pompe qui comprime le liquide puisé du condenseur et assure la circulation du débit moteur ( $ma$ ) jusqu'à l'éjecteur [8].

- **Condenseur**

Son rôle est de refroidir le mélange à sa sortie de l'éjecteur à une température  $T_C$  et une pression  $P_C$ , d'évacuer la quantité de chaleur puisée au niveau de l'évaporateur dans le milieu à refroidir. Donc, la condensation du frigorigène nécessite le rejet de la chaleur de condensation  $Q_C$  à la température  $T_C$  [8].

- **Evaporateur**

L'évaporateur est un échangeur de chaleur dans lequel la transmission de chaleur s'effectue du milieu à refroidir vers le fluide de refroidissement circulant dans le circuit frigorifique. Le milieu à refroidir peut être soit un fluide gazeux, soit un fluide liquide.

Le fluide de refroidissement quant à lui est toujours un fluide liquide qui est un fluide frigorigène [8].

- **Ejecteur**

L'éjecteur est l'élément essentiel du système tritherme à éjecto-compresseur. Il est composé d'une tuyère motrice et d'une tuyère secondaire en trois parties, partie convergente, chambre de mélange, partie divergente du diffuseur. L'éjecteur est l'élément où s'effectue le mélange des deux fluides (primaire et secondaire). C'est aussi un compresseur statique qui sert à augmenter la pression, donc, c'est un élément moteur de la machine dans laquelle le fluide moteur aspire le fluide de la boucle frigorifique. La partie active de l'éjecteur consiste en système de deux tuyères coaxiales liées par un collecteur d'aspiration.

Le fluide moteur sous pression est admis à l'entrée de la tuyère primaire, arrivé dans le collecteur, il entraîne le fluide secondaire issu de l'évaporateur. Les deux courants fluides pénètrent ensuite dans la seconde tuyère où après mélange, ils sont comprimés dans le diffuseur jusqu'à la pression du condenseur [8].

#### **4.2.2. Principe de fonctionnement**

La vapeur motrice provenant d'une buse d'alimentation pénètre dans la tuyère de détente d'un éjecteur et aspire la vapeur en provenance de l'évaporateur. La première partie de l'éjecteur étant de forme convergente, la vitesse de la vapeur s'accroît tandis que simultanément sa pression diminue.

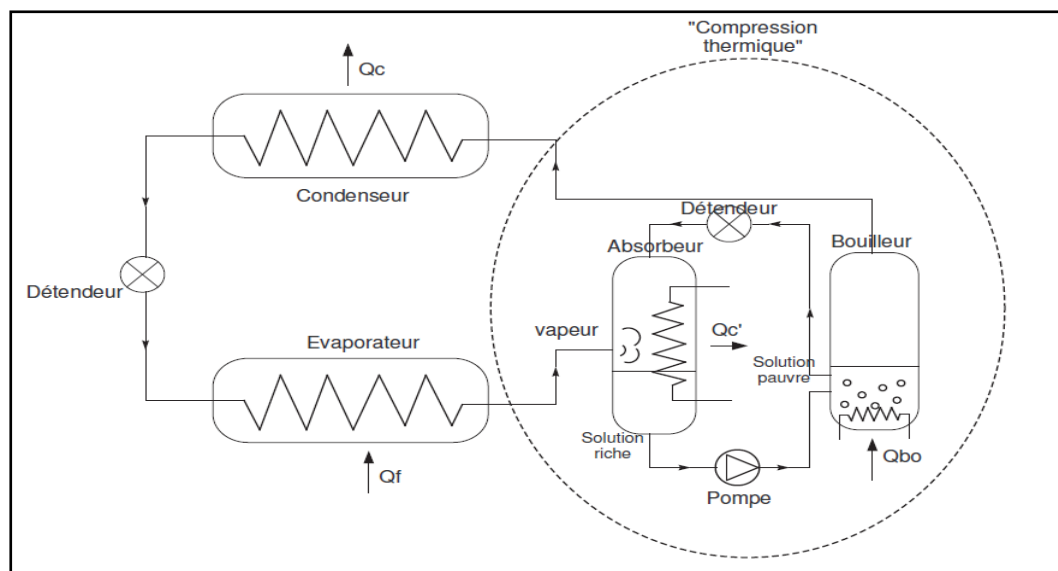
La vapeur de fluide frigorigène se trouve donc aspirée par la vapeur du fluide primaire, le mélange pénétrant ensuite dans la partie divergente de l'éjecteur, la vitesse du mélange diminue tandis que la pression augmente jusqu'à atteindre la pression de condensation. Dans cette installation, le moto-compresseur est remplacé par l'éjecteur qui va réaliser le processus de compression en utilisant l'énergie cinétique du fluide moteur pour aspirer, entraîner et comprimer le fluide secondaire [8].

Le fonctionnement de toute l'installation commence par la partie liquide du fluide qui, comprimé par une pompe, est envoyé au bouilleur ou il prendra la chaleur pour être vaporisé. Cette vapeur se détend à haute pression et température, dans la tuyère primaire, avant d'aspirer et entraîner la vapeur issue de l'évaporateur.

Le mélange des fluides comprimés sera envoyé au condenseur, pour la liquéfaction, avec le dégagement de chaleur pour former le cycle moteur. L'autre partie commence par la détente dans le détendeur puis traverse l'évaporateur pour s'évaporer en créant l'effet frigorifique. Ce fluide sera aspiré par le fluide primaire pour être entraîné vers le condenseur, pour clôturer le cycle secondaire ou frigorifique. Donc les condensas qui se sont formés dans le condenseur sont renvoyés pour partie à la chaudière de production de vapeur vive par l'intermédiaire d'une pompe et pour partie vers l'évaporateur [8].

### 4.3. Cycle de réfrigération à absorption

Le cycle à absorption est un exemple de cycle tri-terme. Il peut être vu comme un cycle à compression de vapeur dont la compression est réalisée de manière thermique. Ainsi on retrouve les principaux composants déjà cités, condenseur, détendeur, évaporateur. Le compresseur est par contre remplacé par l'ensemble de composants constitué d'un absorbeur, d'une pompe et d'un bouilleur, comme présenté dans la figure 1.4 [9].



**Figure 1.4:** Système frigorifique à absorption [9].

### 4.3.1 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement de ce "compresseur thermique" peut être décrit de la manière suivante [9] :

- Le réfrigérant à l'état vapeur à la sortie de l'évaporateur est envoyé dans l'absorbeur où il est **absorbé** partiellement par le liquide. Ceci est un processus exothermique, il faut donc extraire de la chaleur de l'absorbeur.
- Une solution riche en réfrigérant est alors pompée de l'absorbeur vers le bouilleur (on passe alors de la basse pression à la haute pression, avec une consommation électrique très inférieure à ce que l'on aurait avec un compresseur)
- La solution est chauffée par une source de chaleur à haute température afin de **désorber** le réfrigérant de la solution (phénomène endothermique). Les vapeurs libérées sont alors entraînées vers le condenseur.

Ce cycle met en œuvre au moins 3 sources de chaleur. Une source de chaleur supplémentaire à haute température est en effet nécessaire au niveau du bouilleur afin de désorber le frigorigène contenu dans la solution. Ce cycle était celui utilisé par Ferdinand Carré (solution eau-ammoniac).

### 4.3.2. Coefficient de performance

Coefficient réelle : 
$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{eva}}}{Q_{\text{bou}}} \quad (2)$$

Avec :

$Q_{\text{Eva}}$  : Production frigorifique de l'évaporateur.

$Q_{\text{bou}}$  : La quantité de chaleur cédée par le bouilleur.

### 4.3.3. Les avantages

- ✓ Pas de moteur, donc aucuns bruits et pas de vibration ;
- ✓ Consommation électrique un peu inférieure à un frigo à compression à volume équivalent ;

- ✓ Les refroidisseurs à absorption peuvent être alimentés séparément de multiples sources de chaleur : eau chaude, vapeur, fumées d'échappement, gaz méthane/combustible directe ;
- ✓ Grande fiabilité du système, très peu de pannes ;
- ✓ Un large choix d'appareils et en petite profondeur ;
- ✓ les machines à absorption de vapeur. Ces dernières, qui offrent l'avantage de ne pas comprendre de machines tournantes (à l'exception d'une pompe), ont une longue histoire et sont les seules ayant atteint le développement industriel.

#### 4.3.4. Les inconvénients

- Coût de fabrication un peu plus élevé ;
- un grand volume, qui suppose un encombrement dans le cycle ;
- Perte de place ;
- Fonctionnement correct jusqu'à +32 °C ambiant. Au delà, c'est un peu poussif ;
- Nécessite une bonne ventilation arrière du fait de la production de chaleur en cas d'encastrement ;
- Besoin d'être installé parfaitement à l'horizontal.

## 5. Critères de choix d'un fluide frigorigène

Le choix d'un fluide se fait en fonction de ses propriétés thermo physiques, mais également en fonction d'autres critères tels que des critères technologiques, des critères de sécurité et notamment son action sur l'homme, son impact sur l'environnement, son coût [9]:

### Principaux critères thermodynamiques

- la fonction température-pression : on cherche en général à utiliser des fluides dont la pression reste toujours supérieure à la pression atmosphérique afin d'éviter toute possibilité d'entrer de l'air (et donc également de la vapeur d'eau) dans le circuit
- la production frigorifique volumétrique : le rapport entre la production frigorifique et le débit volumétrique devrait être le plus élevé possible.

Ceci permet de réduire la taille des différents éléments de l'installation et notamment le compresseur [9].



- la température de refoulement à la sortie du compresseur est également un critère important. On évite d'avoir des températures supérieures à 150 °C pour éviter de dégrader le comportement lubrifiant de l'huile.
- la pression (température) critique : au delà de cette pression le fluide n'existe plus à l'état liquide. Il est donc souhaitable de travailler sous cette pression, même s'il est possible de réaliser des cycles transarctiques. De manière générale, on cherche à avoir la pression de condensation qui se situe entre 50 et 85 % de la pression critique et la pression d'évaporation entre 5 et 15 %.

### **Principaux critères de sécurité**

- la toxicité
- l'inflammabilité

### **Critères techniques**

- Température de refoulement à la sortie du compresseur
- action du fluide sur les matériaux et sur l'huile de lubrification
- efficacité des échanges thermiques
- facilité de détection des fuites...

### **Critères économiques :**

- prix du frigorigène
- prix des composants de l'installation imposés par la nature du fluide

### **Critères environnementaux :**

Contribution du fluide à la destruction de la couche d' ozone ou à l'effet de serre (à prendre en compte de toute façon puisque liés à la législation)

### **Principaux fluides frigorigènes**

#### **Les fluides dits " naturels " :**

- ✓ Propane, isobutane (R-600A)
- ✓ CO<sub>2</sub> (R-744)
- ✓ Ammoniac (R-717)

**Les fluides chlorés et fluorés de 1ère et 2ème génération :**

- ✓ CFC (R-11, R-12...) : composés chimiques formés de carbone, chlore et fluor.
- ✓ HCFC (R-502, R-22...) : composés chimiques formés de carbone, chlore, fluor, hydrogène.

**Les fluides fluorés de 3ème génération :**

- ✓ R-404A : procédés agroalimentaires, transports frigorifiques, refroidisseurs d'eau, froid commercial.
- ✓ R-134A : froid domestique et commercial, conteneurs frigorifiques, climatisation embarquée.
- ✓ R-410A : transports frigorifiques, groupes refroidisseurs d'eau, climatisation air/air.
- ✓ R-407C : groupes refroidisseurs d'eau, climatisation air/air.

**L'ammoniac : un fluide très réglementé :**

L'ammoniac est un produit naturel, très répandu dans la nature, nécessaire à la vie et sans influence sur la couche d'ozone, ni sur l'effet de serre. Par contre sa toxicité rend son utilisation dangereuse. L'odorat humain permet heureusement une détection de l'ammoniac dans l'air à des concentrations très faibles (3 à 5 ppm) bien inférieure au seuil de toxicité [9].

**6. Conclusion**

Dans ce chapitre, on a fait un rappel sur les différents systèmes de production de froid ainsi que (Cycle de la réfrigération à compression mécanique, cycle à ejecto-compression, cycle à absorption) ainsi que le principe de fonctionnement avec leurs avantages et inconvénients.

Dans le prochain chapitre, on va démontrer d'une façon détaillée le système de climatisation solaire à absorption.

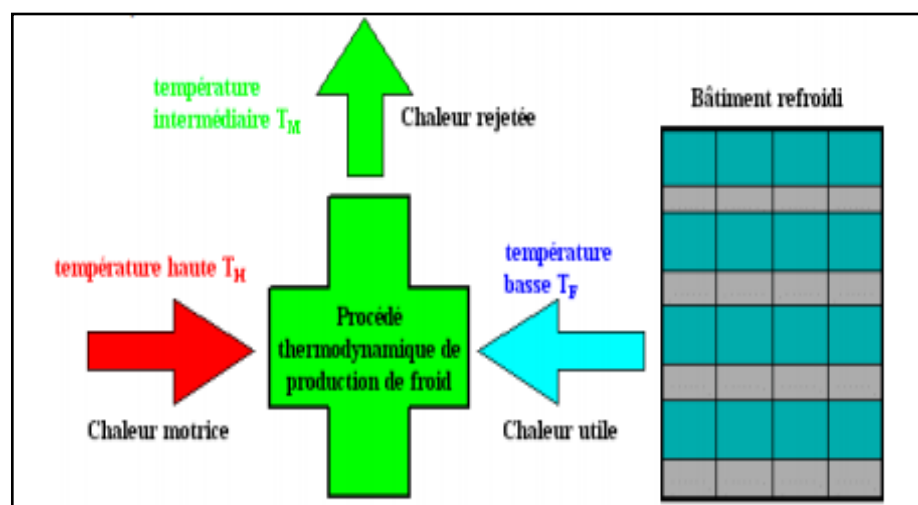
## 1. Généralités sur la climatisation

### 1.1. Définition de la climatisation

La climatisation est définie selon comme étant l'action de maîtriser de façon volontaire la température et/ou l'humidité d'un volume d'air afin de satisfaire le confort thermique des utilisateurs. Cela implique donc le chauffage et/ou le refroidissement de la masse d'air d'un local tout au long de l'année. A l'usage le terme climatisation indique plus spécifiquement le fait de refroidir un local pendant la période estivale jusqu'à obtenir une température de consigne (et éventuellement une humidité relative) définie [10].

Le refroidissement d'un local consiste à enlever de la chaleur (chaleur utile) de ce dernier appelé alors la source froide et en évacuer (chaleur rejetée) à l'extérieur (le puits chaud) afin d'abaisser la température du local. Ainsi, le "froid" n'est pas une grandeur au sens de la chaleur. Cependant, dans la suite de ce document, on utilisera l'expression "production de froid". Il faudra donc bien entendu comprendre l'action de transférer la chaleur de la source froide au puits chaud.

Ce processus est réalisé par un procédé thermodynamique qui consomme de l'énergie pour satisfaire le deuxième principe de la thermodynamique qui indique que la chaleur ne passe pas spontanément d'un corps froid vers un corps chaud. Cette énergie peut être sous diverses formes (travail mécanique, chaleur, électricité, magnétisme...)



**Figure 2.1:** Procédé thermodynamique de refroidissement d'un bâtiment [10]

## 1.2. Principe de fonctionnement

La technique utilisée dans le cadre de la climatisation solaire consiste à transformer la lumière en énergie thermique au moyen d'un capteur solaire. La chaleur ainsi produite est dirigée vers une machine à adsorption où est dissociée, par ébullition, une solution d'eau et de bromure de lithium. Après refroidissement, la recombinaison des deux composants produit, par adsorption de chaleur, des frigories. Le froid est ensuite distribué par un réseau d'eau glacée qui peut alimenter une centrale de ventilation collective [1].

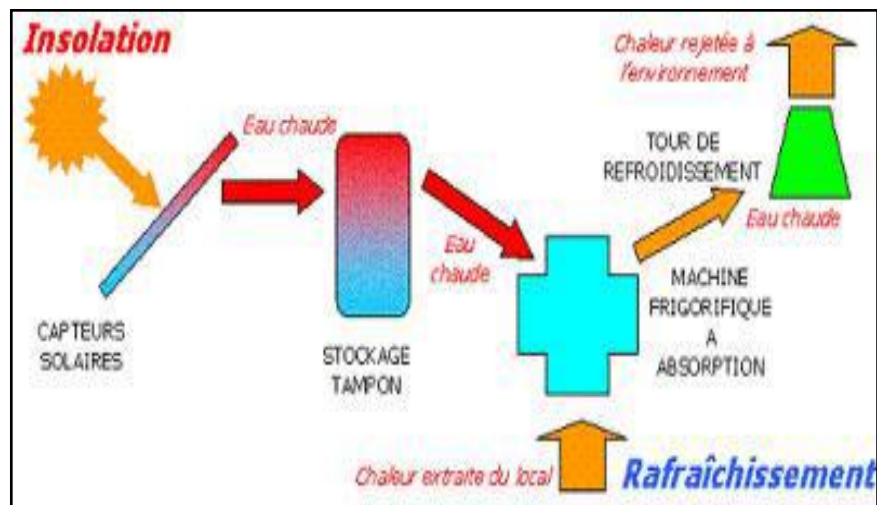


Figure 2.2: Principe de fonctionnement de rafraîchissement solaire [1].

## 1.3. Les différentes technologies de climatisation solaire

Il existe deux grandes familles de systèmes de climatisation solaire [11] :

- Les systèmes avec machine de froid à sorption (absorption et adsorption), ce sont des systèmes à cycle fermé.
- Les systèmes avec Dessiccant Cooling, ce sont des systèmes à cycle ouvert. Les machines de froid à sorption produisent de l'eau glacée alors que les systèmes à dessiccation produisent directement de l'air rafraîchi.

Les systèmes avec machine de froid à sorption sont composés de :

- Capteurs solaires avec une boucle primaire et un stockage d'eau chaude dans un ballon tampon
- Boucle secondaire alimentant en eau chaude le générateur de la machine à sorption

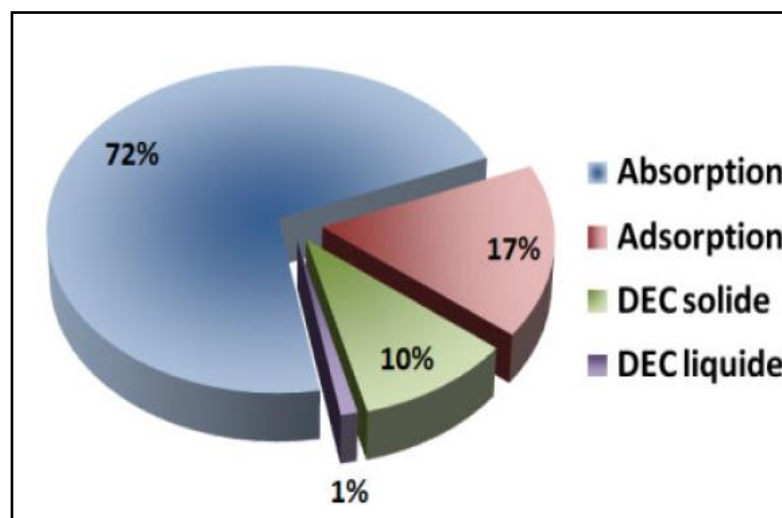
- Machine à absorption ou à adsorption, partie centrale du système
- Condenseur avec une boucle de refroidissement
- Boucle de distribution d'eau glacée

Les avantages de cette technologie de climatisation solaire [11] :

- ✓ Température de démarrage des machines de l'ordre de 75°C, ce qui est adapté aux régimes de température des capteurs solaires (Rendement capteur = 0.5).
- ✓ Efficacité des machines d'autant meilleure que le régime de température sur le circuit d'évacuation des calories est faible (doit être idéalement <28°C), ce qui impose la mise en place de refroidisseurs évapora-tifs.
- ✓ Bonne fiabilité des machines à absorption (une fois correctement paramétrées), qui ne comportent pas de pièces tournantes, à la différence des compresseurs des groupes froids classiques.

#### 1.4. Installations climatisation solaire dans le monde :

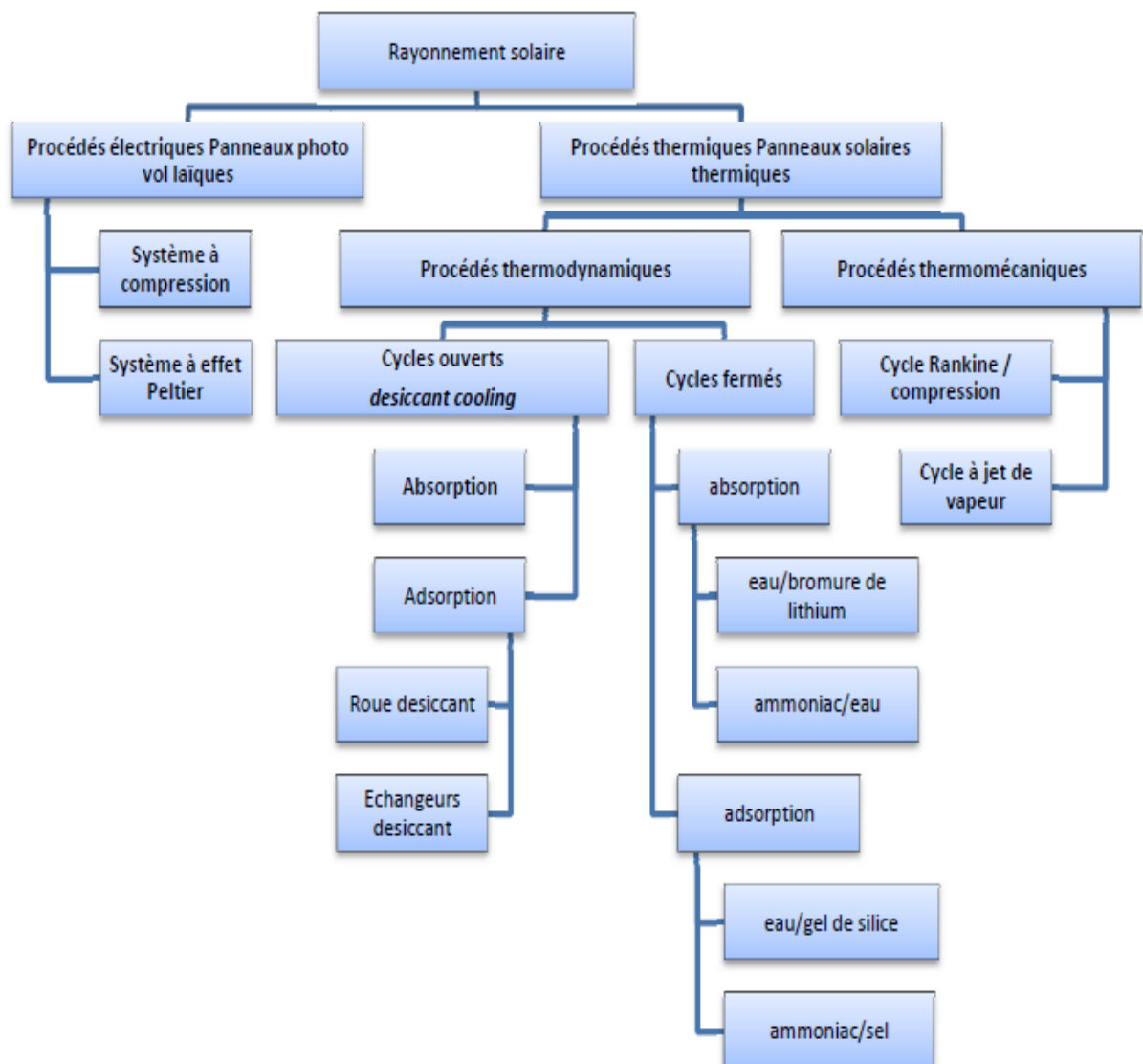
Des statistiques au niveau mondial sur les installations de production de froid solaire nous informent de l'existence d'environ quatre-vingt installations de ce type. La plupart en Europe. 60% de ces systèmes sont utilisées dans des bureaux, 10% dans des usines, 15% dans des centres éducatifs ou de recherche, et 6% dans des hôtels ; le pourcentage restant se répartit entre hôpitaux, cantines, centres sportifs, etc. [12]



**Figure 2.3 :** Répartition des installations de climatisation solaire par type [12].

Avec 72% de la puissance installée, la technologie d'absorption est largement majoritaire, suit ensuite la technologie d'adsorption et de dessiccation solide, avec respectivement 17% et 10% de la puissance installée. Enfin, la dessiccation liquide est encore quasiment inexistante avec 1% de la puissance installée. 53% des installations emploient des capteurs solaires plans, 37% des capteurs sous vide et seulement 10% des capteurs paraboliques et des capteurs à air [12].

### 1.5. Différentes technologies de production de froid



**Figure 2.4 :** Différentes technologies de production de froid à partir de l'énergie solaire [1].

## 2. Système à absorption

La compression thermique est obtenue en utilisant un couple réfrigérant/liquide absorbant, et une source de chaleur qui remplace la consommation électrique du compresseur mécanique, parmi les couples les plus utilisés on a l'ammoniac/eau ( $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ ). Pour de l'eau glacée au dessus de  $0^\circ\text{C}$ , comme c'est le cas en climatisation, c'est le couple eau/bromure de lithium ( $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ ) qui est utilisé, l'eau étant le réfrigérant. La plupart des systèmes utilisent une pompe à solution, très faiblement consommatrice d'électricité. Dans un système  $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ , la cristallisation de la solution doit être évitée par un contrôle interne de la température du circuit de refroidissement [13].

La « production de froid » est basée sur l'évaporation du réfrigérant (l'eau) dans l'évaporateur à très basse pression. La vapeur d'eau est alors « aspirée » dans l'absorbeur, contribuant à la dilution de la solution  $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ . L'efficacité du processus d'absorption nécessite un refroidissement de la solution. Cette dernière est pompée en continu dans le générateur où elle est chauffée (chaleur motrice). La vapeur d'eau ainsi générée est envoyée dans le condenseur, où elle se condense. L'eau liquide, après passage dans une vanne de détente, retourne ensuite à l'évaporateur.

### 2.1. Description du système de climatisation par absorption

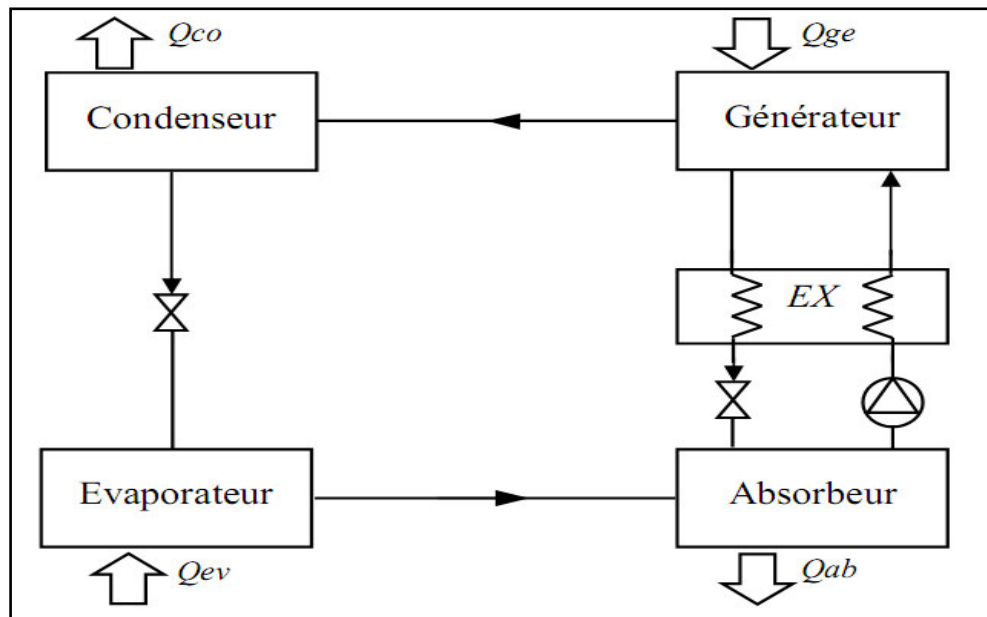
Le système solaire à absorption est composé des éléments suivants [14] :

- Un champ de capteurs solaires ;
- Un ballon de stockage d'eau chaude à appoint hydraulique intégré ;
- Une machine frigorifique à absorption ;
- Un système de régulation.

### 2.2. Différentes machines à absorption

#### 2.2.1. Machines à simple effet

Le système à absorption à simple effet est le plus utilisé à cause de sa simplicité, la figure 2.5 montre le schéma du principe d'une machine fonctionnant avec le couple  $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ . Dans le cas où on utilise un absorbant volatil comme  $\text{NH}_3$  dans le couple  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ , l'installation aurait besoin d'une colonne de rectification qui a pour rôle de purifier le réfrigérant avant de l'introduire dans le condenseur.



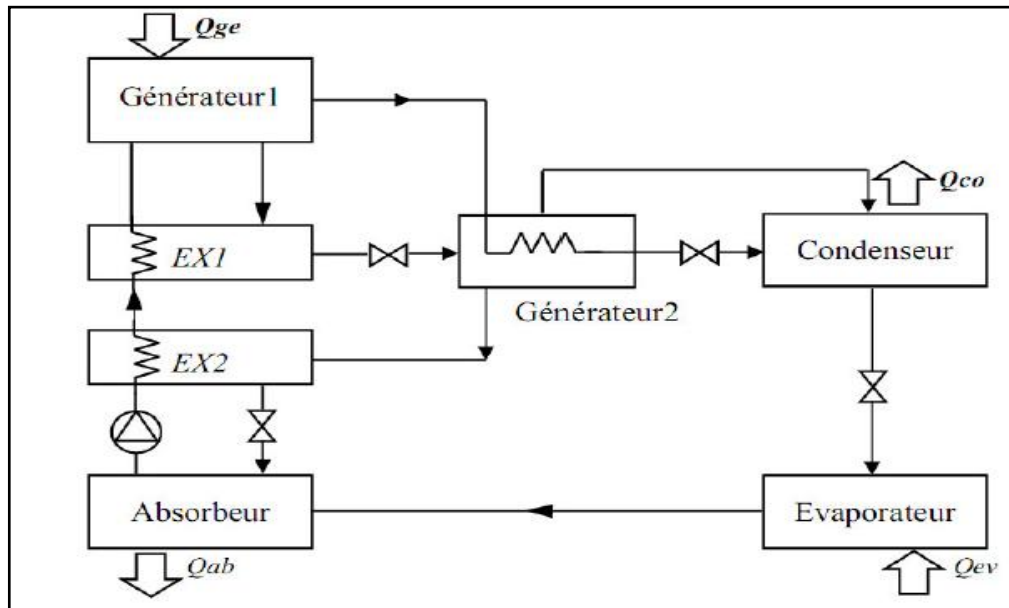
**Figure 2.5 :** Cycle à simple effet avec échangeur de solution (EX) qui permet de Réduire la chaleur fournie au générateur [12].

En général, un échangeur thermique est utilisé entre le générateur et l'absorbeur qui préchauffe la solution riche en utilisant la chaleur dégagée par la solution pauvre d'où le nom « échangeur de solution ». Son intérêt est d'augmenter le COP. Des études expérimentales ont montré qu'un échangeur de solution devrait faire partie de toute installation puisqu'il permet d'augmenter le COP d'environ 60% [12].

### 2.2.2. Machine à double effet

Le cycle à absorption à double effet a été introduit entre 1956 et 1958 [12], la figure 2.6 montre un tel système fonctionnant avec H<sub>2</sub>O/LiBr. Le générateur à haute pression est chauffé par une source de chaleur extérieure, les vapeurs frigorigènes produites sont ensuite utilisées comme source d'énergie à la génératrice basse pression ce qui permet la séparation d'avantage du frigorigène. Ce cycle fonctionne à trois niveaux de pression. La pression dans le 1<sup>er</sup> générateur peut être très importante ce qui nécessite des températures élevées pour permettre la séparation et, en plus, il y a risque de dépassement de la plage de solubilité du mélange utilisé donc il faut choisir correctement le fluide de travail. Ce problème ne se pose pas dans le cas du bromure de lithium.





**Figure 2.6 :** Cycle à absorption à double effet (Ecoulement en série fonctionnant à trois Niveaux de pression) [12].

COP th compris entre 1 et 1,2 avec des températures de génération demandées de l'ordre de 130°C à 160°C, c'est-à-dire nécessitant des capteurs à concentration suivant le rayonnement solaire.

L'utilisation de ces machines double effet avec l'énergie solaire reste une application possible et intéressante en termes d'efficacité mais marginale (2 opérations recensées) en raison des températures de fonctionnement demandées [12].

### 2.2.3. Principe de fonctionnement

Le principe de procédé de climatisation consiste dans un premier temps à récupérer les apports solaires pour la production d'eau chaude et, dans un second temps, transformer l'énergie calorifique de l'eau en frigorie, par l'intermédiaire d'une machine à absorption. Les machines frigorifiques à absorption fonctionnent grâce à la faculté de certains liquides d'absorber (réaction exothermique) et de désorber (réaction endothermique) une vapeur. Elles utilisent le fait que la solubilité de cette vapeur dans le liquide dépende de la température et de la pression.

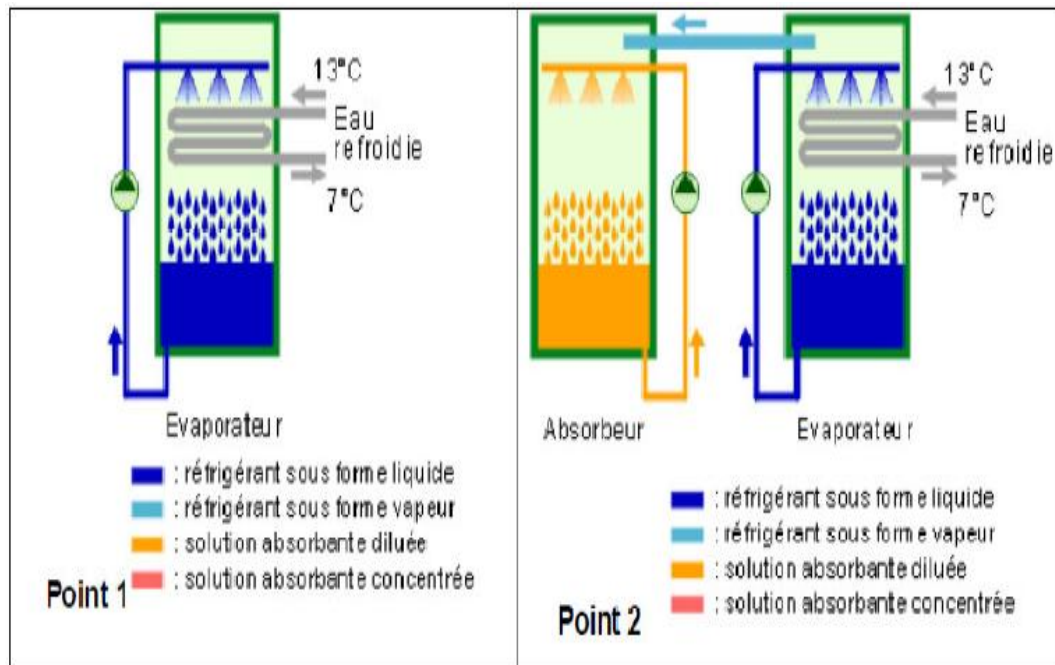
Ainsi, ces machines utilisent comme fluide de travail un mélange binaire, dont l'un des composants est beaucoup plus volatile que l'autre, il s'agit du fluide frigorigène. L'autre constituant est le sorbant. Le couple généralement utilisé est le couple Eau + Bromure de Lithium (H<sub>2</sub>O/LiBr), l'eau étant le fluide frigorigène.

La machine frigorifique à absorption se divise en quatre composants principaux [12] :

- l'évaporateur ;
- l'absorbeur ;
- le concentrateur (également appelé bouilleur ou désorbeur) ;
- le condenseur.

Dans l'évaporateur (point 1), le réfrigérant (ici de l'eau) est pulvérisé dans une ambiance à très faible pression. L'évaporateur est parcouru par un circuit à eau. En s'évaporant, le réfrigérant soustrait sa chaleur à cette eau qui est ainsi refroidie.

Une partie du réfrigérant pulvérisée ne s'évapore pas et tombe dans le fond de l'évaporateur où elle est pompée pour être à nouveau pulvérisée.

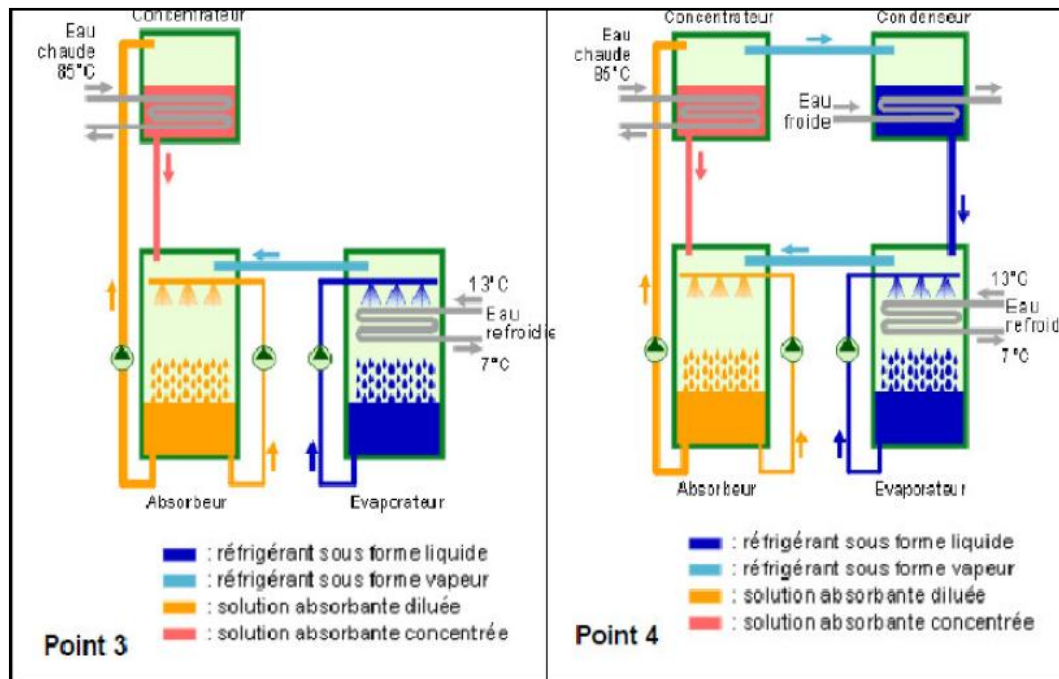


**Figure 2.7** : fonctionnements d'un évaporateur [12].

La vapeur d'eau (point 2) créée dans l'évaporateur est amenée à l'absorbeur. Il contient la solution absorbante (LiBr) qui est continuellement pompée dans le fond du récipient pour y être pulvérisée. Le LiBr absorbe la vapeur d'eau hors de l'évaporateur et y maintient ainsi la basse pression nécessaire à la vaporisation du réfrigérant.

Au fur et à mesure qu'elle absorbe la vapeur d'eau (point 3), la solution absorbante est de plus en plus diluée. Elle finira par être saturée et ne plus rien pouvoir absorber. La solution est donc régénérée dans le concentrateur. Elle est réchauffée, par une batterie à eau chaude

(environ  $85^{\circ}\text{C}$ ) et une partie de l'eau s'évapore. La solution régénérée retourne à l'absorbeur [12].



**Figure 2.8:** fonctionnements d'un système à absorption [12].

Enfin (point 4), la vapeur d'eau extraite du concentrateur est amenée dans le condenseur, où elle est refroidie par une circulation d'eau froide. L'eau condensée retourne à l'évaporateur.

Deux compléments au système augmentent son efficacité :

Une circulation d'eau froide dans l'absorbeur. Le phénomène d'absorption génère de la chaleur.

La circulation d'eau froide dans le fluide absorbant évite sa montée en température, ce qui diminuerait son efficacité.

Remarque [12] :

- l'eau de refroidissement de l'absorbeur peut ensuite passer dans la batterie de refroidissement du condenseur ;
- Un échangeur de chaleur sur le circuit du fluide absorbant ;
- Le fluide chaud sortant du concentrateur qui retourne à l'absorbeur préchauffe le fluide qui va vers le concentrateur, économisant ainsi une partie de l'énergie nécessaire pour chauffer le fluide à régénérer.

### 2.3. Les avantages

- ✓ Consommation d'électricité divisée par 20 par rapport aux machines à compression mécanique ;
- ✓ Le fluide frigorigène est inoffensif ;
- ✓ Nuisance sonore du compresseur supprimée ;
- ✓ Absence de pièce mécanique en rotation donc d'usure prématurée.

### 2.4. Les Inconvénients

- Le principal inconvénient de ces groupes à absorption est leur coût à l'investissement beaucoup plus élevé que pour un groupe à compression mécanique traditionnel équivalent [2].

### 2.5. Les rendements

Dans un système de climatisation solaire à « absorption », on fait face à deux types de rendements [2]:

- **Le rendement thermique** : comme tous les appareils dédiés à faire du froid, la climatisation solaire a un coefficient de performance (COP). Ce COP est défini comme le rapport de la puissance de froid, divisée par la puissance de chauffe nécessaire. On atteint des COP de 0,7 dans des systèmes mono étages, des COP supérieurs à 1 pour des systèmes multi étages. Toutefois, les températures d'entrée dans l'évaporateur augmentent dans les systèmes multi étages (130 – 160°C pour 80 – 110°C dans les systèmes mono étages).
- **Le rendement des capteurs solaires** : en général, pour les capteurs solaires thermiques (chauffe-eau solaire), le rendement baisse lorsque la température du capteur monte. Dans le cas d'une installation de refroidissement à absorption, en revanche, le rendement augmente lorsque la température de chauffage monte. Tout l'art de développer des concepts performants réside donc dans le choix de meilleurs capteurs (à tubes sous vide) qui conduisent à une réduction au minimum des dépenses en énergie solaire primaire.

## 3. Les capteurs solaires appliqués aux techniques de rafraîchissement solaire

Il existe deux grandes catégories de capteurs solaires trouvant leur application dans les systèmes de rafraîchissement solaire : les capteurs photovoltaïques et les capteurs solaires thermiques.

### 3.1. Les capteurs solaires photovoltaïques

Les capteurs solaires (ou cellules) photovoltaïques (PV) sont capables de convertir directement le rayonnement solaire en énergie électrique. Les particules de lumière viennent heurter les électrons du matériau semi-conducteur de la photopile et lui transmettent leur énergie (figure 2.9). Le matériau semi-conducteur généralement utilisé est le silicium traité qui assure la fonction d'une diode et donc oriente la circulation de tous les électrons dans le même sens faisant apparaître une tension à ses bornes en présence de lumière [15].

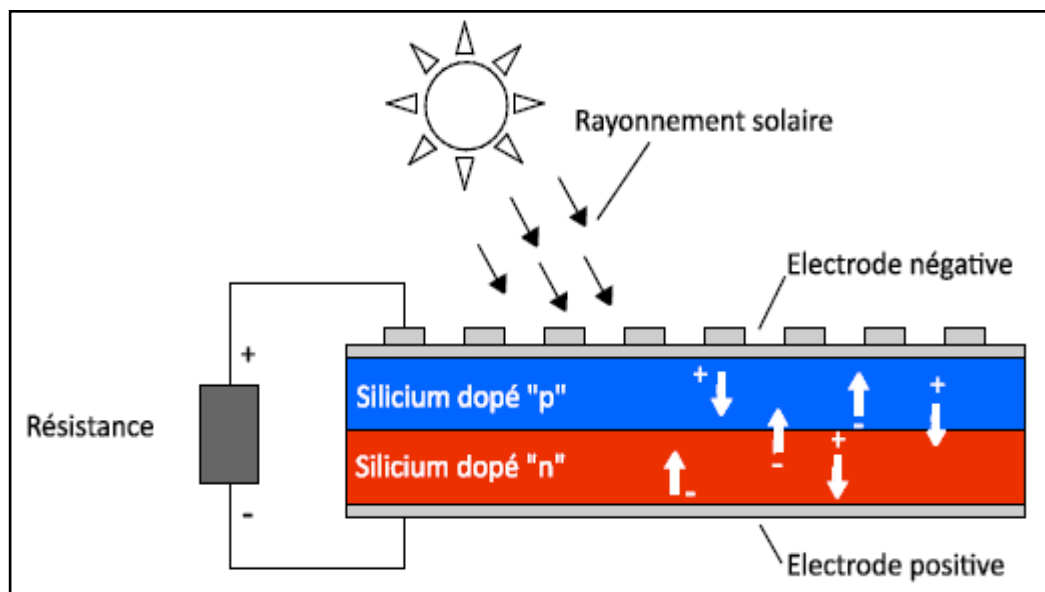


Figure 2.9 : Schéma de principe d'une photopile [15]

### 3.2 Les capteurs solaires thermiques

Il est constitué d'un panneau noir absorbant la chaleur du soleil pour la transmettre à de l'eau circulant dans le capteur solaire. Il existe principalement deux types de capteurs solaires thermiques. Le capteur plan le plus simple et le moins cher et le capteur à tubes sous vide ayant un meilleur rendement solaire car il récupère plus efficacement le rayonnement solaire. Le capteur solaire aux panneaux solaires est principalement utilisé pour le réchauffage de l'eau chaude sanitaire ou le complément au chauffage de la maison ou de l'immeuble. Dans le premier cas l'installation est dite chauffe-eau solaire individuel (CESI) ou système solaire centralisé (SSC). À noter qu'il existe une forme simplifiée du chauffe-eau solaire individuel, c'est le CESI optimisé. Plus petit, et moins cher il correspond à une demande appropriée au marché de la basse consommation [16].

Par ailleurs, il existe deux grands types de capteurs solaires thermiques, qui s'utiliseront en fonction du type d'application voulue, de la nature de l'élément caloporteur, et

du niveau de température qu'ils permettent d'atteindre. En premier lieu, l'on retrouve les panneaux solaires thermiques à air qui, par l'air réchauffé, permettent d'augmenter la température de l'air ambiant interne.

Rappelons que le solaire a une place privilégiée dans les obligations réglementaires notamment la réglementation 2012 qui impose pour toute maison individuelle l'obligation de mettre en œuvre une énergie renouvelable [16].

### **3.3. Les différentes technologies des capteurs solaires thermiques**

#### **3.3.1. Principes**

Les capteurs solaires thermiques constituent le cœur des installations destinées à transformer l'énergie transmise par le soleil en chaleur.

Le rayonnement solaire est absorbé par une surface noire, parcourue par un fluide caloporteur qui extrait l'énergie thermique et la transfère vers son lieu d'utilisation ou de stockage. Une isolation thermique est disposée à l'arrière et sur la périphérie du capteur pour limiter les déperditions par conduction [17].

#### **3.3.2. Selon le fluide de travail**

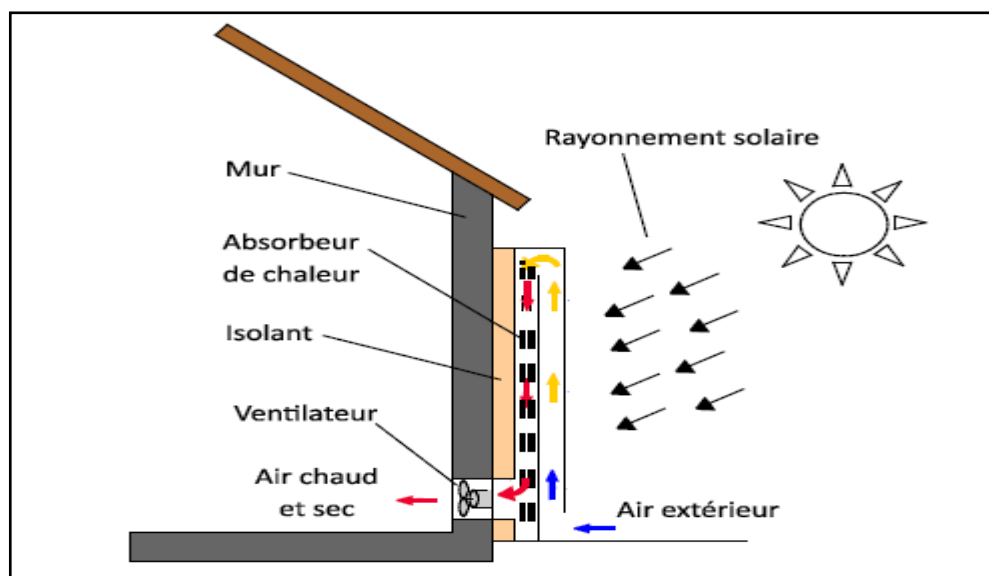
Il existe non seulement plusieurs manières pour fournir l'énergie solaire, mais également différentes méthodes pour capter l'énergie solaire. La liste ci-dessous présente quelques types de capteurs solaires les plus répandus qui sont : les capteurs solaires à eau, les capteurs solaires à air et les capteurs solaires sous vide, etc. [18].

##### **3.3.2.1. Les capteurs solaires à eau**

Dans ce type de capteurs, on distingue deux formes de systèmes, systèmes de circulation à basse pression et systèmes de circulation à haute pression [18].

##### **3.3.2.2 Les capteurs solaires à air**

Ces capteurs sont constitués généralement d'un caisson isolé recouvert d'une vitre. L'air froid s'engouffrant dans la partie basse du capteur est réchauffé pour aller directement dans la pièce à chauffer. Ils peuvent aussi être fixés sur un des murs extérieurs du bâtiment à traiter (figure 2.10 : mur Trombe) [15].



**Figure 2.10:** Schéma de principe d'un capteur à air fixé à un mur (mur Trombe) [15]

### 3.3.3. Selon la Forme

Il existe non seulement plusieurs manières de fournir de l'énergie solaire mais également différentes méthodes pour capter l'énergie solaire provenant d'un rayonnement incident. La liste ci-dessous présente quelques-uns des types les plus répandus des capteurs solaires [18].

#### 3.3.3.1. Les capteurs solaires plans

Afin d'intercepter l'énergie provenant du rayonnement solaire, il existe plusieurs sortes de capteurs solaires. Dans ce qui suit une brève description de trois types de capteurs solaires plans les plus usuels [19].

##### a) Les capteurs plans sans vitrage

C'est le modèle le plus simple, le plus économique mais le moins performant. Il est généralement constitué d'une simple plaque de métal ou de matière plastique (absorbeur) sur laquelle sont collés plusieurs tubes porteurs de fluide caloporteur. Les capteurs plans non vitrés ne sont pas isolés sur la face avant, c'est pourquoi ils répondent mieux à des applications à basse températures (inférieure à 30°C). Le domaine d'utilisation principal de ce type de capteurs est le chauffage des piscines extérieures. Parce qu'ils n'ont pas de vitrage, ces capteurs absorbent une grande partie de l'énergie solaire. Toutefois, parce qu'ils ne sont pas isolés sur leur face avant, la grande partie de la chaleur absorbée est perdue lorsqu'il ya

notamment du vent et que la température extérieure n'est pas assez élevée. Brassé par de l'air chaud, ces capteurs absorbent la chaleur échangée en particulier au cours de la nuit lorsque la température est élevée en présence du vent à l'extérieur. La typique intégration architecturale qu'autorise ce type de produit permet la mise en œuvre de surface plus grande, pour compenser la différence d'efficacité avec les capteurs plans vitrés, en particulier pendant l'hiver [19].



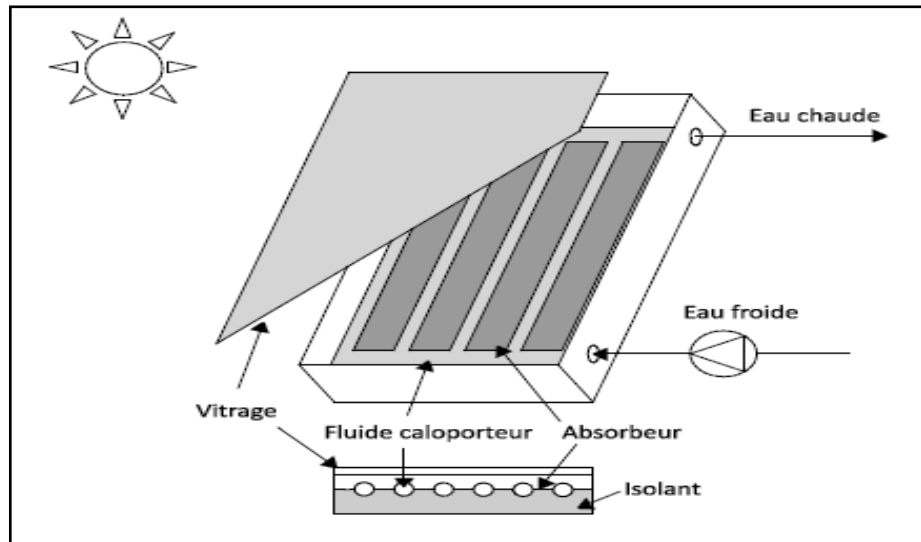
**Figure 2.11** : Capteurs plans sans vitrage [19]

### **b) Les capteurs plans vitrés**

Les capteurs solaires plans vitrés sont très répandus. Ils existent sous formes de capteurs à eau et de capteurs à air. Ces capteurs conviennent mieux à des applications à température modérée où les températures souhaitées se situent entre 30°C et 70°C.

Les capteurs à circulation d'eau sont plus couramment utilisés pour la production de l'eau chaude sanitaire à l'échelle individuelle ou collective, pour un usage industriel, ainsi que pour les piscines intérieures. Les capteurs à air sont utilisés pour le séchage, pour le chauffage des locaux aussi l'air de ventilation [19].

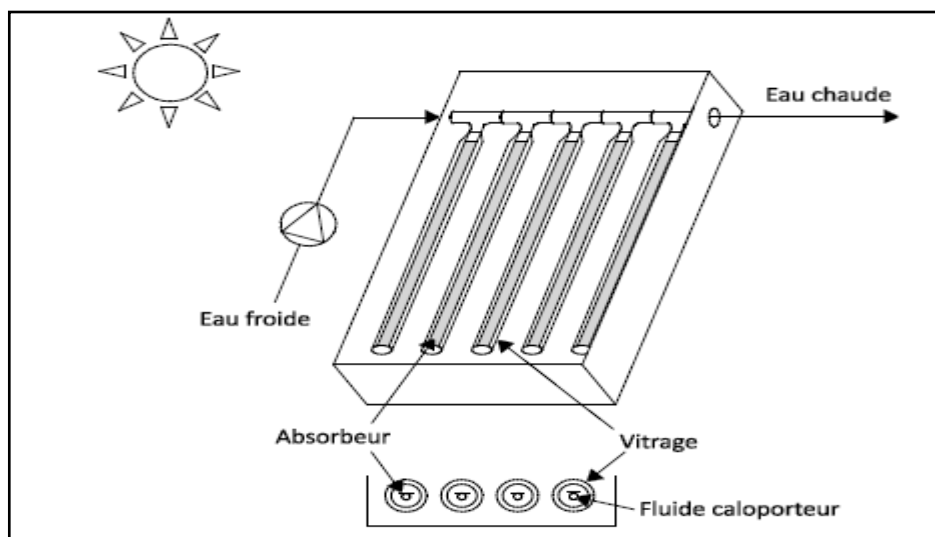




**Figure 2.12** : Schéma de principe d'un capteur plan vitré [15]

### 3.3.3.2. Les capteurs sous vide

On distingue les capteurs sous vide à caloduc et à circulation directe. Les tubes sous vide à caloduc utilisent un mécanisme d'évaporation et de condensation du fluide pour l'échange de chaleur. Le fluide caloporteur chargé de récupérer la chaleur ne circule pas directement dans les tubes. Il est chauffé par un fluide secondaire qui s'évapore sous l'influence du rayonnement solaire, et se condense au contact de l'échangeur de chaleur [15].



**Figure 2.13** : Schéma de principe d'un capteur sous vide [15]

### 3.3.4. Capteurs solaires à concentration

On peut utiliser un concentrateur pour augmenter l'intensité du rayonnement solaire par unité de surface de l'absorbeur. L'effet du concentrateur permet aussi d'obtenir des températures plus élevées. Le concentrateur dans sa forme la plus simple, peut être un réflecteur de projecteur ou un miroir plan ou même une plaque peinte en blanc un tel concentrateur est un simple renforçateur [17].

Les trois systèmes à concentration les plus importants pour l'application à grande échelle de l'énergie solaire sont :

#### 3.3.4.1. Concentrateurs cylindro-paraboliques

Les réflecteurs cylindro-paraboliques sont des systèmes en forme de « U ». Ils concentrent les rayons du soleil sur un tube récepteur situé le long de la ligne focale du réflecteur. Parfois un tube en verre transparent entoure le tube récepteur afin de réduire les pertes de chaleur. Ces concentrateurs utilisent souvent un système de pointeur solaire à simple axe ou à double axe. Les températures du récepteur peuvent atteindre 400°C [12].

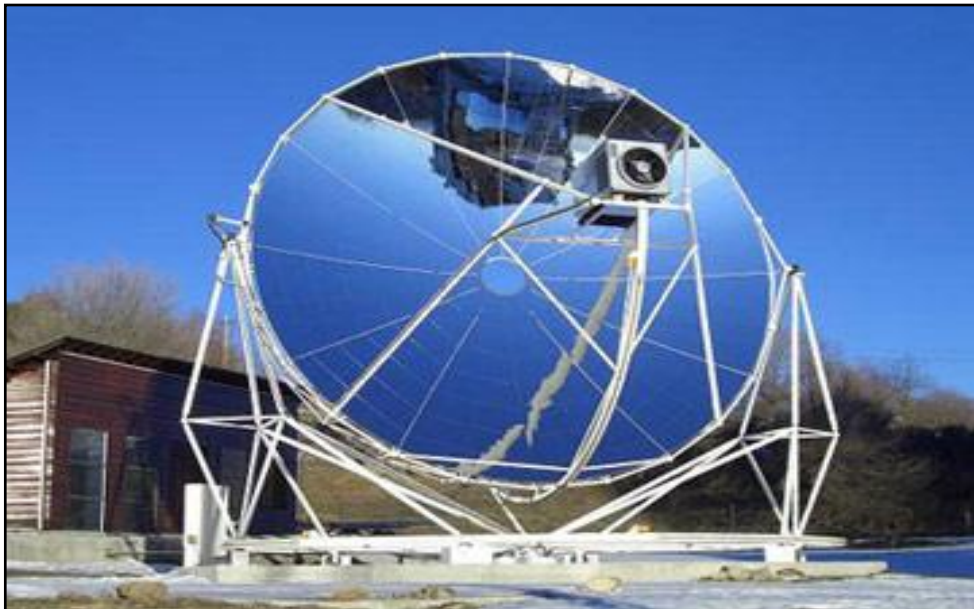


**Figure 2.14:** Concentrateur cylindro-parabolique [12]

### 3.3.4.2. Concentrateurs paraboliques

Les captures paraboliques fonctionnent d'une manière autonome. Ils suivent le soleil sur 2 axes afin de concentrer le rayonnement solaire sur le foyer de la parabole réfléchissante. Le rapport de concentration est souvent supérieur à 2000 avec une température de 750°C.

Ces capteurs utilisent des surfaces réfléchissantes paraboliques pour concentrer les rayons solaires dans le foyer où se trouve le récepteur (absorbeurs) qui capte la chaleur solaire ainsi concentrée. Naturellement ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil. Les systèmes à réflecteur parabolique peuvent atteindre des températures plus élevées (jusqu'à 1500°) sur le récepteur. Les rendements de conversion de capteur sont voisins de 70 % en régime nominal [12].



**Figure 2.15:** Concentrateur parabolique [12].

### 3.3.4.3. Système de centrale à tour (héliostat)

Un héliostat utilise un ensemble de pointeurs solaire à double axe qui dirige l'énergie du soleil vers un grand absorbeur situé dans une tour. Ces capteurs possèdent un ensemble de grands miroirs qui suit le mouvement du soleil. Les miroirs concentrent les rayons du soleil sur le récepteur en haut de la grande tour. Un ordinateur garde les miroirs alignés afin que les rayons du soleil, qui sont réfléchis, visent toujours le récepteur, où la température peut dépasser 1000°C [12].



**Figure 2.16** : Système de centrale à tour [12].

### 3.4. Bilan thermique d'un capteur solaires plan

Le bilan thermique est indispensable à la détermination du rendement du capteur, par unité de surface il s'écrit [16] :

$$IA = QU + QP + QS \quad (3)$$

Avec :

IA: flux solaire absorbé à la surface de l'absorbeur

QU: puissance utile récupérée par le fluide caloporteur

QP : puissance perdue par convection et conduction à l'arrière du capteur et par conduction, convection et rayonnement à la face avant.

QS : la puissance stockée sous forme de chaleur vive dans les différents éléments du capteur lorsque le régime thermique est variable.

Le rendement instantané du capteur s'écrit [16] :

$$\eta = \frac{QU}{IA} \quad (4)$$

Pour un capteur à inertie thermique négligeable (faible masse des composants, faible chaleur spécifique) ou dans le cas de régime permanent on a :

$$QS = 0$$

$$\text{Et :} \quad \eta = 1 - \frac{QP}{IA} \quad (5)$$

### 3.5. Le Rendement D'un Capteur Solaire

Pour calculer le rendement d'un capteur solaire nous utiliseront la formule suivante [16]:

$$\eta = B - k \cdot \frac{T_m - T_e}{H} \quad (6)$$

Avec :

**B** : Facteur optique du capteur

**K** : Coefficient de déperditions du capteur [W/m<sup>2</sup>. K]

**T<sub>m</sub>** : Température moyenne du capteur [°C]

**T<sub>e</sub>** : Température extérieure [°C]

**H** : Irradiation solaire [W/m<sup>2</sup>]

#### Le facteur optique B

Ce facteur (sans dimension) est le produit du coefficient d'absorption de l'absorbeur par le coefficient de transmission du vitrage. Il varie entre 0,5 et 0,8 suivant la nature du capteur (par rapport à la surface hors tout du capteur). Il correspond aussi au rendement maximum du capteur.

#### Le coefficient K [W/m<sup>2</sup>. K]

Ce coefficient est représentatif des pertes thermiques du capteur. Il dépend essentiellement du niveau d'isolation du capteur et de la nature de l'absorbeur. Il varie fortement en fonction du type de capteur :

Capteur non vitré : 20 à 25 [W/m<sup>2</sup>. K]

Capteur vitré standard : 5 à 8 [W/m<sup>2</sup>. K]

Capteur vitré sélectif : 4 à 6 [W/m<sup>2</sup>. K]

Capteur sous vide : 1 à 2 [W/m<sup>2</sup>. K]

## 4. La consommation d'énergie en Algérie

Elle comprend les consommations d'énergie à usage final, ventilées selon les trois grands secteurs que sont "l'industrie", "le transport" et "les ménages et autres".

Elle a augmenté en 2013 de près de 2,2 Mtep pour atteindre 38,5 Mtep, reflétant une forte hausse de 6,0%.

La structure de la consommation finale, par secteur d'activité, montre une prépondérance du secteur des "ménages et autres" (y compris agriculture et tertiaire), dont la part est passée de 41% à 43% en 2013. Ceci reflète l'amélioration des revenus et du niveau de vie des citoyens [20].

### 4.1. Consommation finale par produit

- La structure de la consommation finale par produit dénote l'importance de la part des produits pétroliers (38,4%), essentiellement les carburants automobiles;
- La consommation finale du GPL a baissé de (-3,1%), passant à 2,0 millions de tonnes en 2013. Cette baisse reflète notamment la conversion au gaz naturel, avec la poursuite du développement des réseaux de distribution publique du gaz [20].

La répartition de la consommation finale par produit est illustrée dans le graphe ci-après :

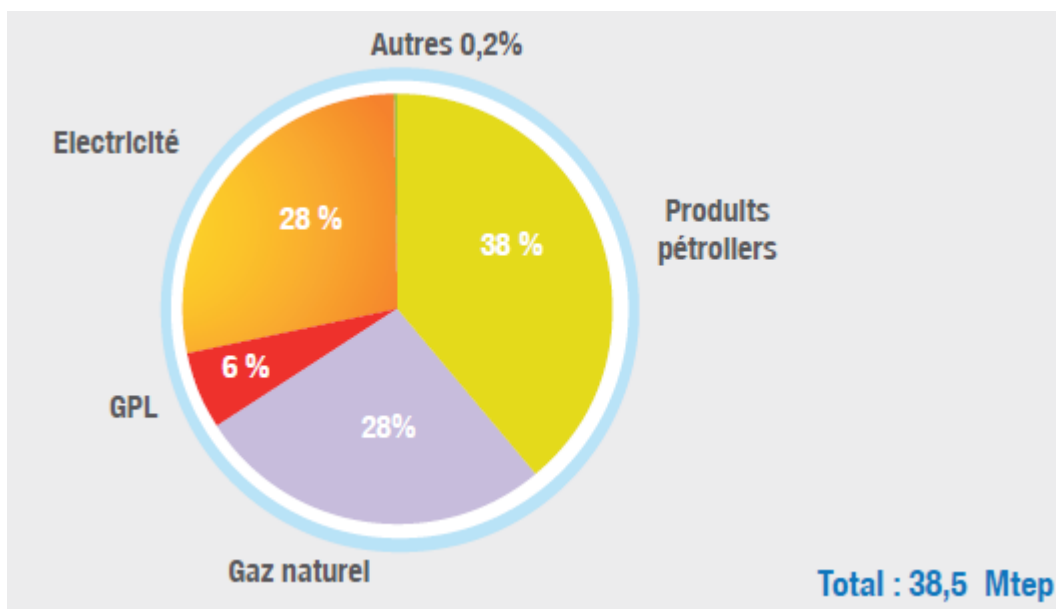
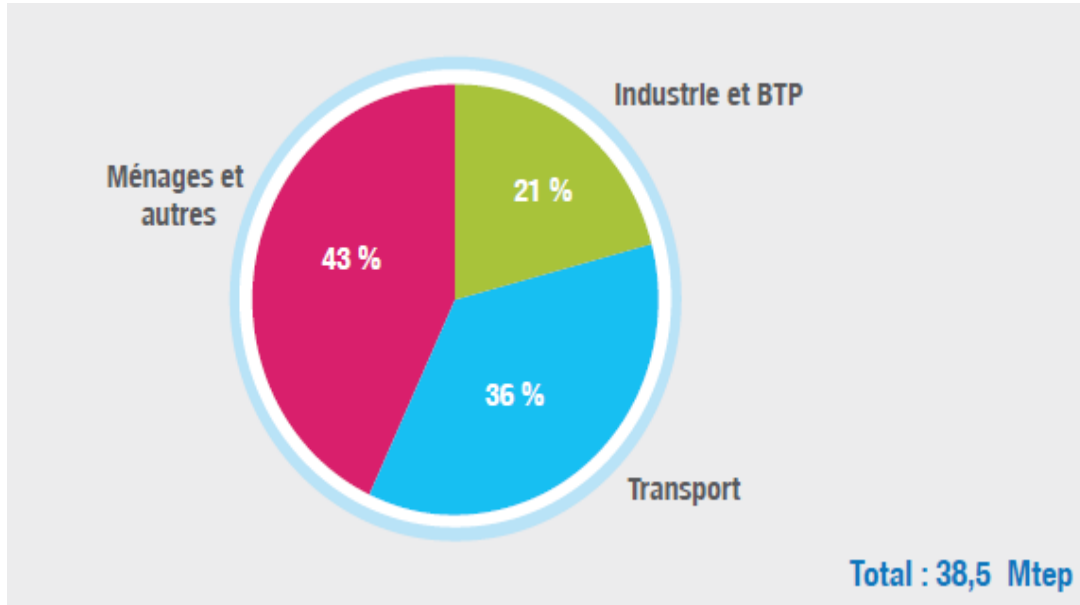


Figure 2.17 : Structure de la consommation finale par produit [20]

## 4.2. Consommation finale par secteur d'activité

La structure de la consommation finale par secteur d'activité, est donnée dans le graphe ci-après :



**Figure 2.18** : Structure de la consommation finale par secteur d'activité [20]

Par secteur d'activité, les performances de la consommation finale en 2013 sont commentées ci-après :

- La consommation du secteur «Industries et BTP» a connu une hausse de (+ 3,7%) pour atteindre 8,2 Mtep , tirée par la consommation des industries manufacturières (+7,0%) et des matériaux de construction (+5,3%);
- La consommation du secteur des "transports" s'est accrue de 3,9% en 2013, pour atteindre 13,9 Mtep, due essentiellement à la croissance de la consommation du transport routier (+4%);
- La consommation des «Ménages et autres» a atteint 16,4 Mtep en 2013, reflétant une forte hausse de (+9%), tirée par l'accroissement de la consommation du résidentiel.
- La consommation du secteur agricole a connu en 2013 une forte baisse de (-33,6%) passant à 248 Ktep [20].

## 1. Aperçu sur TRNSYS

### 1.1 Description du logiciel

TRNSYS ("Simulateur de système transitoire" prononcé «transis») a été développé à l'origine par l'Université du Wisconsin dans les années 1970 pour l'analyse numérique de l'énergie solaire destinée au chauffage et à l'eau chaude. Au cours des 30 dernières années TRNSYS n'a cessé d'affiner et maintenant il est largement reconnu comme un outil d'analyse fiable pour les systèmes énergétiques complexes.

TRNSYS est un logiciel de simulation du comportement thermique des bâtiments et des systèmes associés en régime dynamique. La modélisation et la simulation de ce système est nécessaire pour étudier le comportement thermique et celui du système solaire photovoltaïque, et peut être utilisé pour valider tous les concepts de toutes énergies nouvelles et simuler des systèmes énergétiques. Le recours à ce type de logiciel est indispensable pour prendre en compte la variabilité temporelle importante des sollicitations et des sources d'énergie. Dans TRNSYS les composants d'un système sont appelés types et chaque type a un ensemble de paramètres les entrées (inputs) et les sorties (output) qui décrivent et définissent la manière dont il permettra de relier d'autres types [21].

La simulation est en effet un outil extrêmement séduisant. Contrairement à l'expérimentation elle permet de tout essayer même les solutions les plus originales. Il donne la possibilité de jouer avec le modèle de bâtiment en lui ajoutant des composants en modifiant sa forme son orientation en le situant à des endroits différents etc. C'est un vecteur d'imagination et de créativité. La simulation permet d'évaluer une solution technique et/ou architecturale elle le fait avec détail précision et pertinence. Contrairement aux méthodes de calcul simplifiées elle fournit des résultats sous une forme identique à celle qu'auraient des mesures expérimentales sur un bâtiment réel. On injecte dans le modèle les valeurs que prennent au cours du temps des variables décrivant le climat ; on indique les paramètres de fonctionnement du bâtiment (occupé continuellement, chauffé, climatisé, etc.) et classiquement on obtient les valeurs prises par un certain nombre de variables d'observation (températures d'air températures de surface des parois, puissance de chauffage ou de refroidissement, etc.) à des moments successifs en général régulièrement espacés de la période considérée [21].



## 1.2. TRNSYS Simulation Studio

Simulation studio est l'interface d'accueil de TRNSYS permettant de développer des applications de simulation. Un projet de simulation consiste à choisir un ensemble de modules et à décrire ensuite les interactions entre ceux-ci. Chaque module représente un sous programme et agit comme une boîte (qu'il est cependant possible d'ouvrir). On introduit pour chaque sous programme les différents paramètres, les variables d'entrée et de sortie [1].

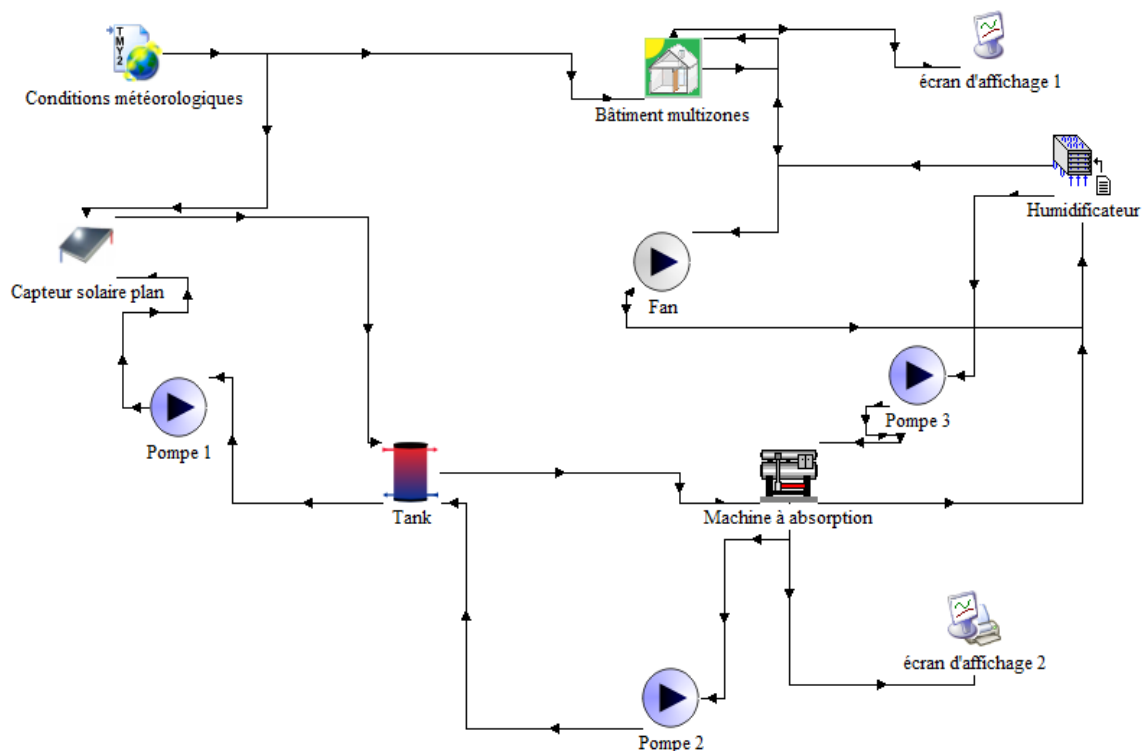


Figure 3.1: TRNSYS simulation studio

## 1.3. TRNBuild

« TRNBuild » est un outil permettant d'introduire les caractéristiques d'un bâtiment multizone nécessaire à la simulation thermique de celui-ci. Ses propriétés sont introduites dans « TRNSYS simulation studio » via le module « type 56 » ainsi l'utilisateur décrit chaque zone thermique alternativement (les matériaux utilisés pour la construction des murs) [1].

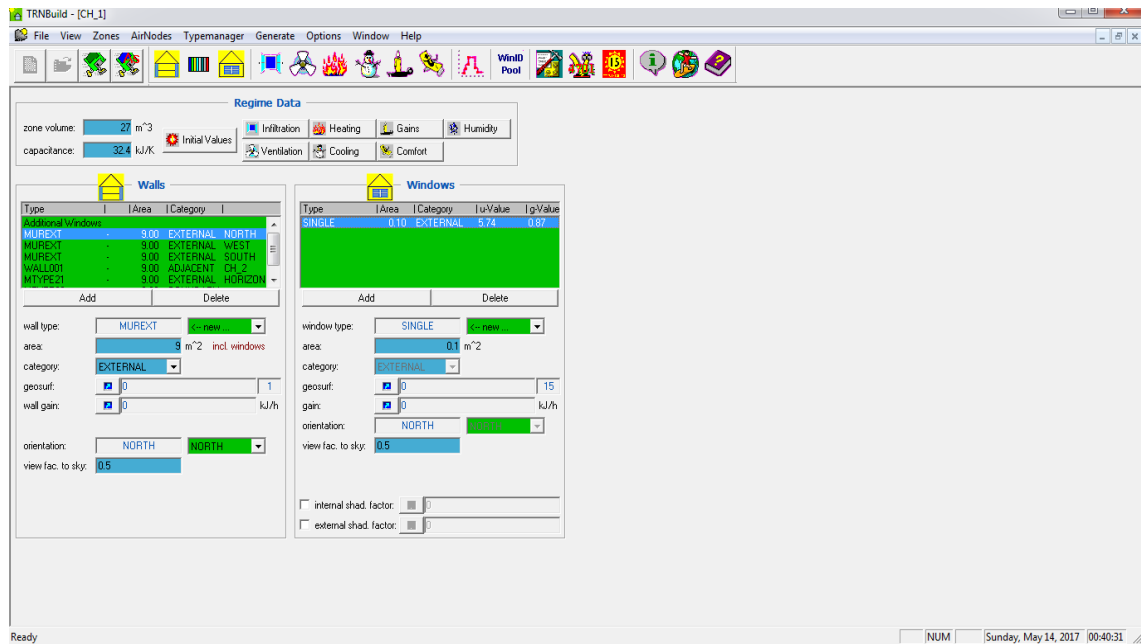


Figure 3.2: Interface du logiciel TRNBuild

## 1.2. Avantages du logiciel TRNSYS

- ✓ Il est extrêmement flexible pour modéliser un ensemble de systèmes thermiques à différents niveaux de complexité ;
- ✓ L'accès au code source permet aux utilisateurs de modifier ou d'ajouter des composants qui ne figurent pas dans la bibliothèque d'origine ;
- ✓ Documentation vaste de sous-programmes y compris explication, usages usuels et équations de base ;
- ✓ Définition très souple de la période de simulation : choix de pas de temps, du début et de la fin de la simulation [22].

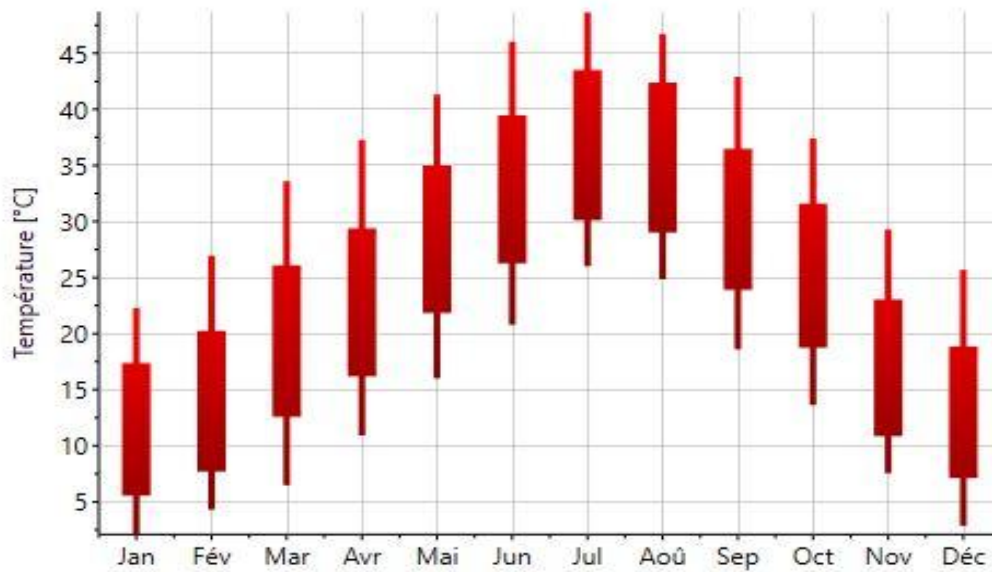
## 1.3. Inconvénients du logiciel TRNSYS

- TRNSYS ne dispose pas de valeur ou de système par défaut, l'utilisateur doit donc posséder des données définissant le bâtiment et le système [22].

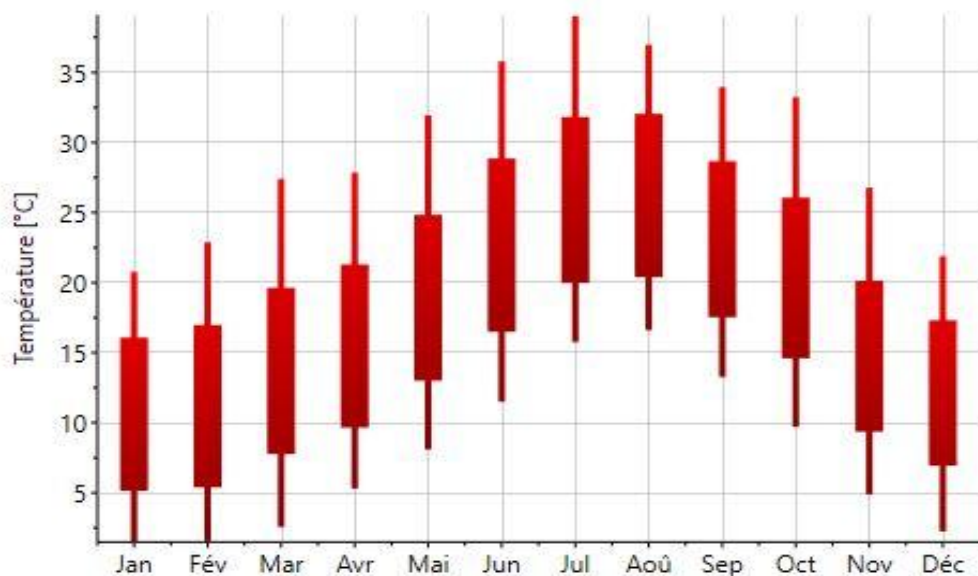
## 2. Résultats de simulation

Avant de faire une simulation de cycle frigorifique à absorption, une étude de la variation de température et du rayonnement solaire de la région d'Ouargla préférable afin de prendre une vue sur les conditions ou la quelles ce cycle frigorifique thermique se fonctionnent et se comparé à une autre ville algérienne (Alger).

### 2.1. La variation de température ambiante extérieure pendant l'année



**Figure 3.3:** La variation de température durant une année à Ouargla



**Figure 3.4:** La variation de température durant une année à Alger

À Ouargla la température moyenne dépasse les 25 °C depuis le mois de mai jusque a le mois d'octobre qui nécessite la climatisation des locaux pendant presque 7 mois surtout avec la mauvaise isolation de la majorité des bâtiments construits en Algérie, par contre à Alger la température dépasse les 25 °C à partir du mois de juin jusqu'à la mi-septembre donc presque la moitié de la durée de climatisation par rapport Ouargla, cette comparaison nous

montre l'importance d'avoir un système de climatisation efficace et économe adapté à un climat assez chaud et des maisons mal isolées.

2.2. La variation de la durée de l'ensoleillement pendant l'année

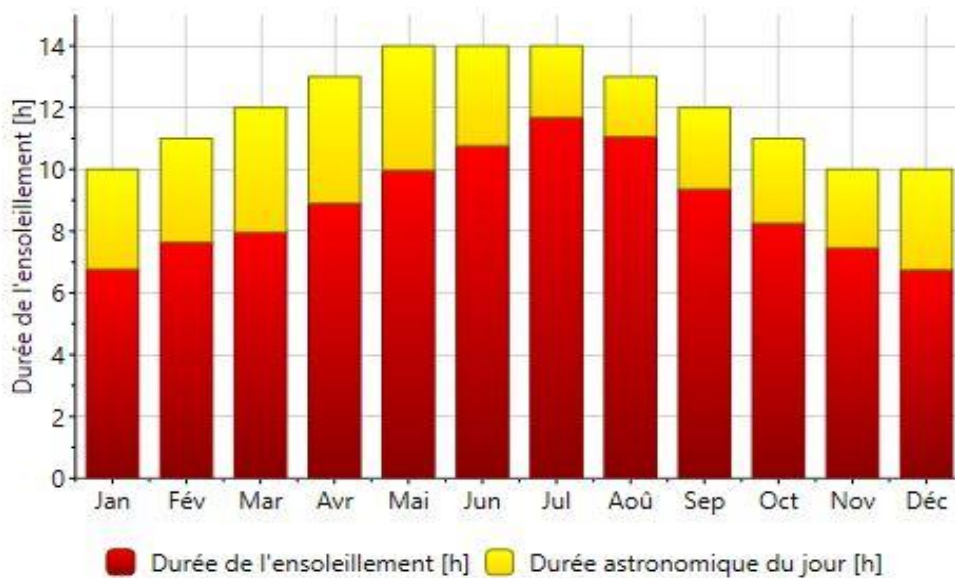


Figure 3.5: La variation de durée de l'ensoleillement et durée astronomique de jour durant une année a Ouargla

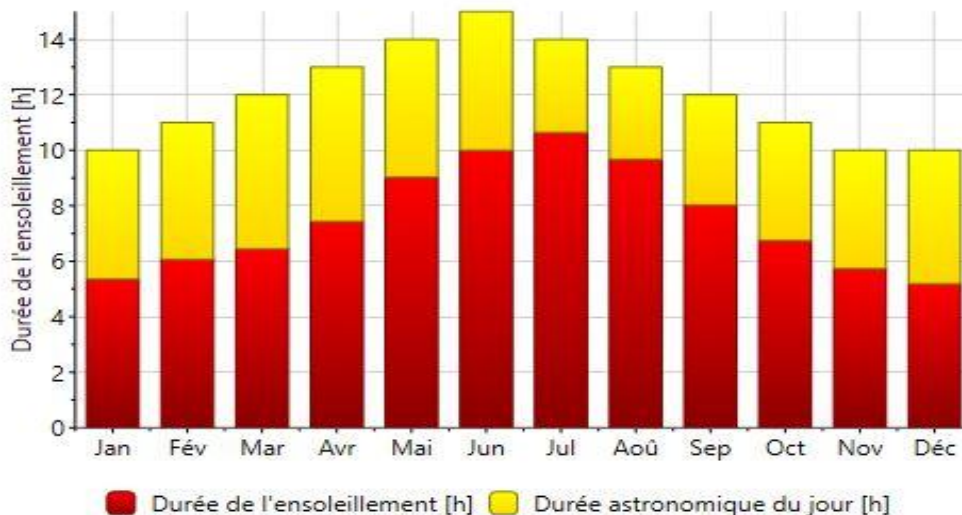
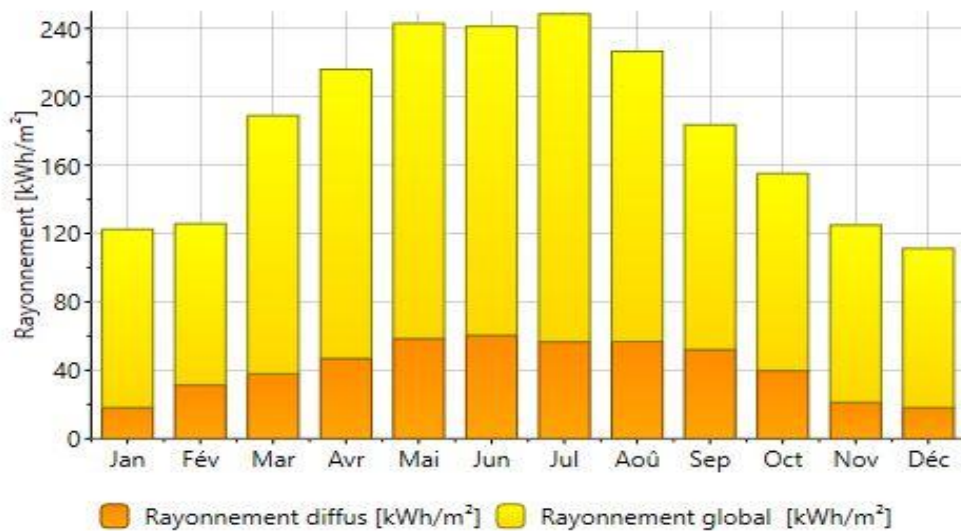


Figure 3.6: La variation de durée de l'ensoleillement et durée astronomique de jour durant une année a Alger

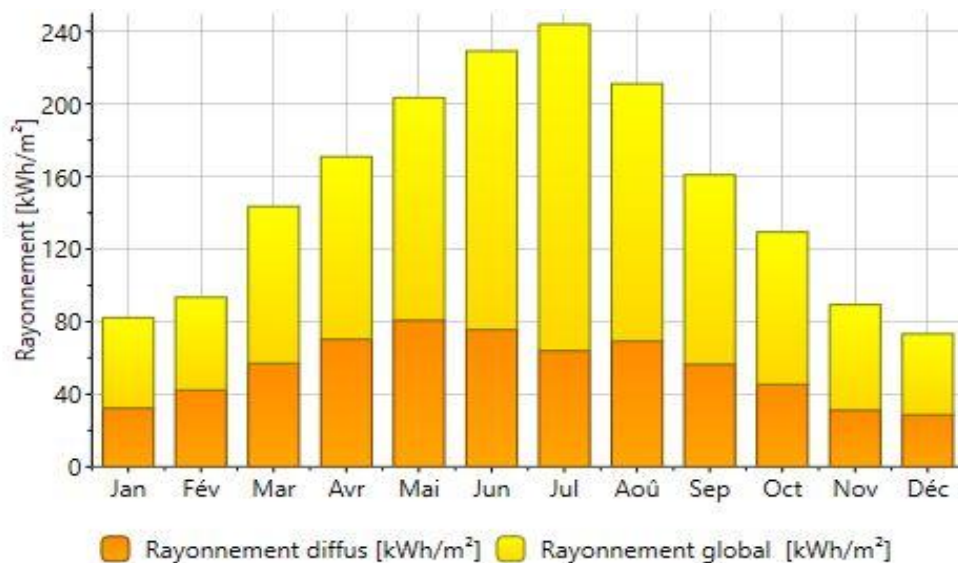
Les graphes ci-dessus montrent que la durée de l'ensoleillement (en heure) est en voie d'augmentation à partir du mois de janvier et devient à sa valeur maximale en été presque la

même valeur à la ville d'Ouargla et Alger, mais cette durée d'ensoleillement maximale demeurent trois mois (mai, juin et aout) par contre cette valeur maximale demeurent un mois seulement à Alger, mais en général la durée d'ensellement dépasse les dix heures pendant toute l'année soit à Ouargla ou à Alger, sa nous encourageant d'utiliser l'énergie solaire comme source d'énergie pour les systèmes de climatisation surtout dans les zones chaudes .

### 2.3. La variation du rayonnement diffus et du rayonnement global pendant l'année



**Figure 3.7:** La variation de rayonnement diffus et rayonnement global durant une année a Ouargla



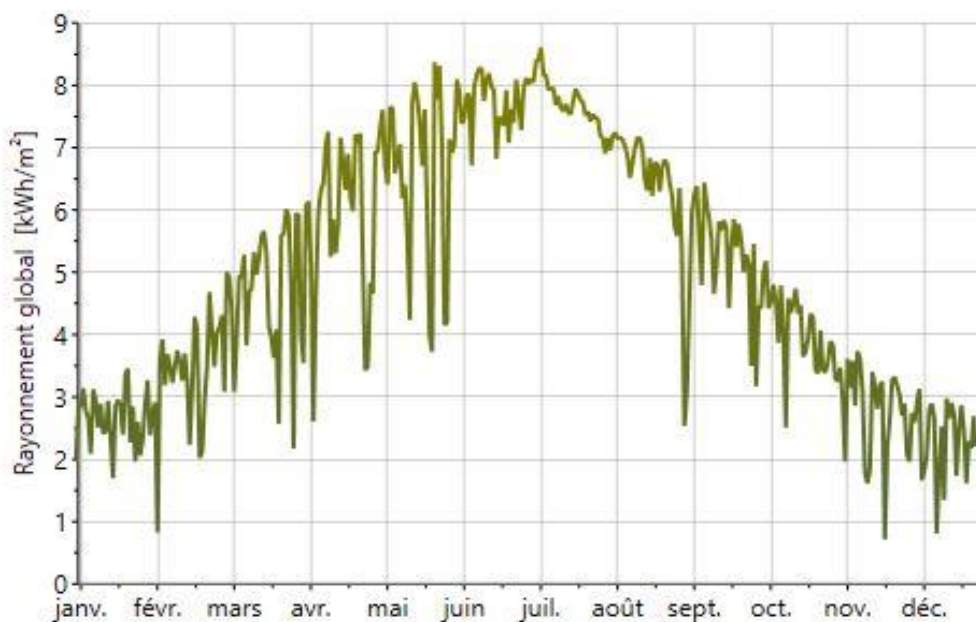
**Figure 3.8:** La variation de rayonnement diffus et rayonnement global durant une année a Alger

Les graphes en haut nous montrent que les valeurs maximales du rayonnement global(en kWh/m<sup>2</sup>) sont identiques pour les deux villes (Ouargla et Alger), mais le rayonnement à Ouargla est plus stable avec des valeurs élevées pendant toute l'année par rapport la ville d'Alger. Ces valeurs du rayonnement global reste parmi les plus élevées au monde.

#### 2.4. La variation de rayonnement global pendant l'année



**Figure 3.9:** La variation de rayonnement global durant une année a Ouargla



**Figure 3.10:** La variation de rayonnement global durant une année a Alger

Le rayonnement solaire global à Ouargla est augmenté puis diminué, mais les valeurs du rayonnement solaire sont supérieures à  $3500 \text{ kWh/m}^2$  durant la plupart des jours de l'année par contre à Alger le rayonnement est augmenté brusquement malgré que les valeurs maximales pendant l'été sont presque les mêmes par rapport aux valeurs au niveau de la ville d'Ouargla. Donc l'utilisation de l'énergie solaire pour la climatisation est justifiée à cause des valeurs du rayonnement solaire très élevées.

### 3. Simulation TRNSYS

Dans cette partie, on va simuler l'installation de climatisation solaire à l'aide du logiciel TRNSYS :

#### 3.1. La climatisation solaire thermique

La figure (3.11) présente l'installation de la climatisation solaire thermique dans le logiciel TRNSYS simulation studio. Cette figure montre le principe de fonctionnement du système thermique qui consiste à collecter l'énergie solaire grâce à des capteurs thermiques plan. Cette énergie est ensuite stockée dans un tank et puis pompée à l'aide d'une pompe vers la machine à absorption. Finalement, la machine à absorption produit l'eau glacée nécessaire pour la climatisation de la chambre.

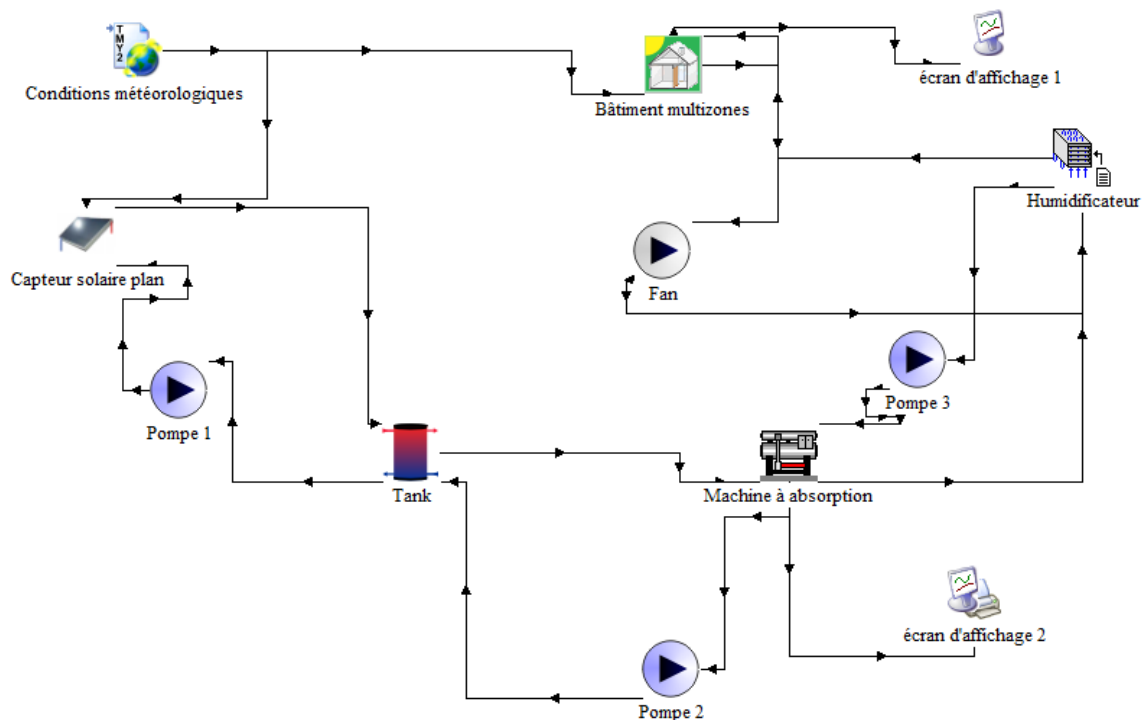


Figure 3.11 : Les composants de l'installation thermique

### 3.2. Description du rôle des composants de l'installation

#### 3.2.1. Conditions météorologiques

Afin de conditionner le rayonnement solaire incident en analogie avec notre climat de la ville d'Ouargla, on utilise le « TYPE 109-TMY2 » représenté dans la figure (3.11), ceci est utilisé pour calculer le rayonnement solaire sur le plan des capteurs solaires.

#### 3.2.2. Système solaire

Trois composants sont déjà ajoutés dans le système solaire : capteur solaire plan, la pompe, tank. Les composants sélectionnés sont les suivants :

##### 1. Capteur solaire

Ce composant de « TYPE 1b » est un capteur solaire thermique plan qui consiste à collecter l'énergie du soleil et la transformée en énergie thermique à l'aide du fluide caloporteur (transportant l'énergie).

Informations sur le capteur plan utilisé dans notre simulation :

Surface du capteur [m <sup>2</sup> ]	2
Efficacité du capteur	0.80
Inclinaison du capteur [°]	30
Nombre en série	1

**Tableau 3.1 :** Paramètres du capteur solaire plan

##### 2. Tank

Ce composant définit par le « TYPE 4b », il permet de stocker le fluide caloporteur à haute température.

##### 3. Pompe

Ce composant définit par le « TYPE 3d », elle permet de pomper l'eau froide vers le capteur solaire plan.

#### 3.2.3. Machine à absorption

Ce composant définit par le TYPE « 107 » permet de produire l'eau glacée pour les besoins de la climatisation.



### 3.2.4. Construction de la maison

Ce composant définit par le « TYPE56 ».

### 3.3 Les types TRNSYS

Le tableau ci-dessous nous présente le nom de chaque composant des types TRNSYS du système thermique :

Types	Nom de composant
Type 109	Conditions météorologiques
Type 1b	Capteur solaire plan
Type 107	Machine à absorption à simple effet
Type 4b	Tank
Type 3d	Pompe
Type 112a	Fan avec effets de l'humidité
Type 697a	Humidificateur
Type 56b	Bâtiment multizones et TRNBUILD

**Tableau 3.2 :** Les types TRNSYS

La température de l'air reste l'indicateur principal de l'état du confort thermique dans un espace habitable.

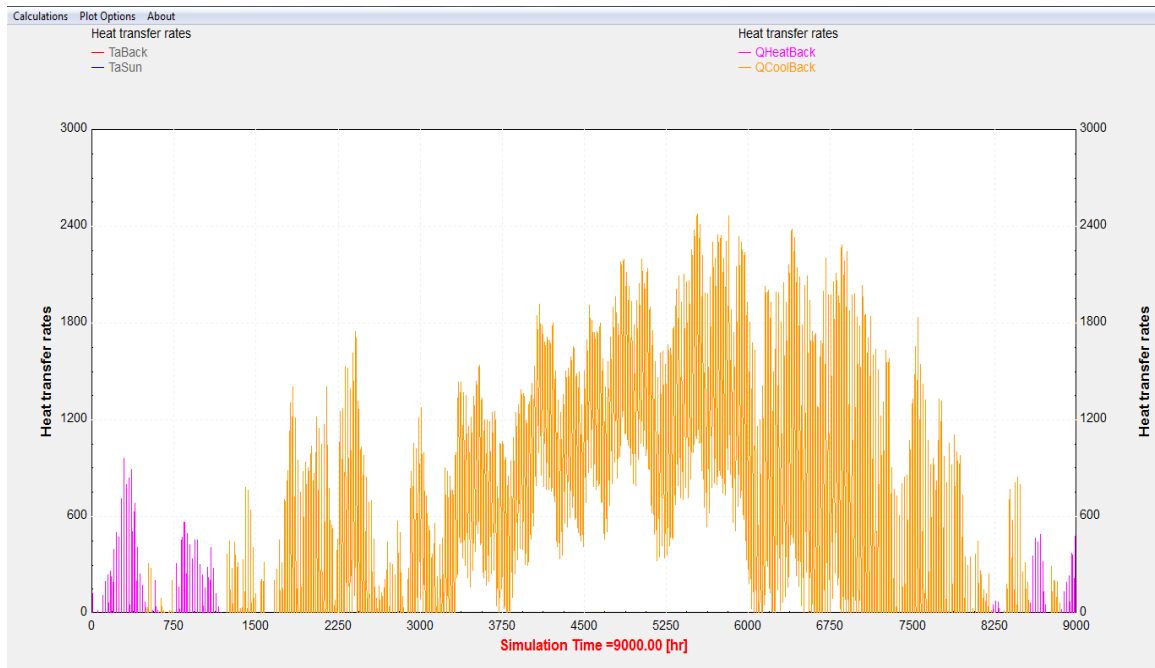


Figure 3.12: Besoins de chauffage et climatisation

Les besoins énergétiques du bâtiment se lient à la variation des températures pendant l'année.

À Ouargla à partir du mois d'avril la température dépasse le  $35^{\circ}\text{C}$ , et elle demeure élevée jusqu'à le mois d'octobre, donc les besoins de la climatisation sont très importants que les besoins de chauffage que nous obligeons de chercher un système de climatisation efficace et ne consomme pas beaucoup d'énergie pour couvrir les besoins les en climatisation à moindre coût.

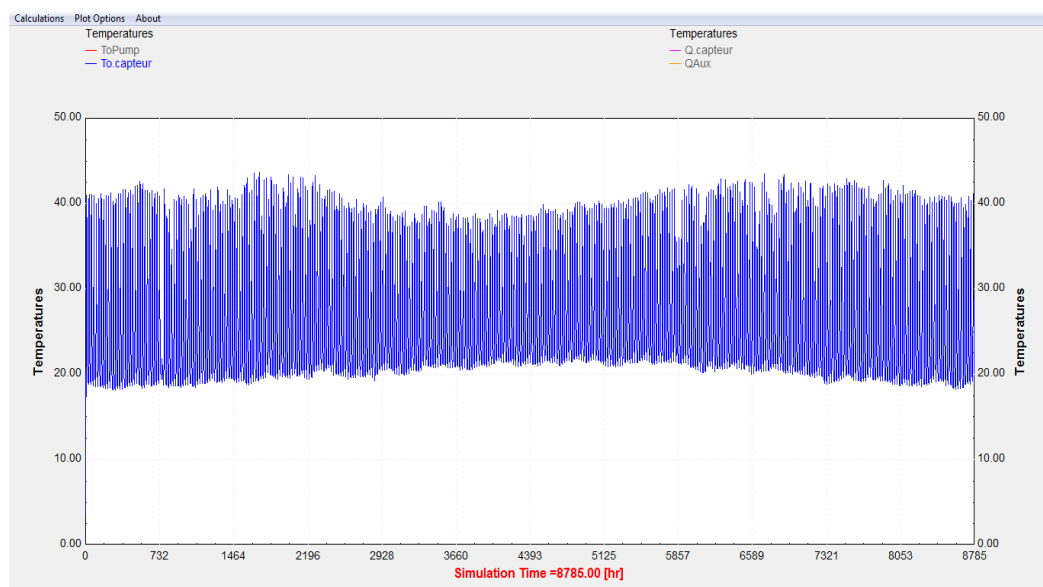
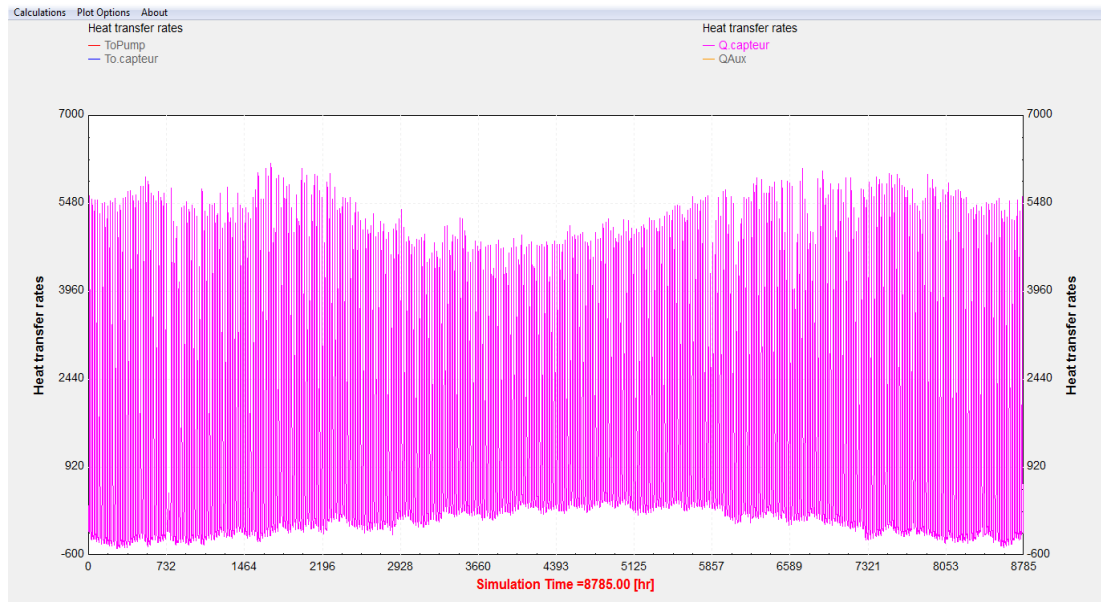


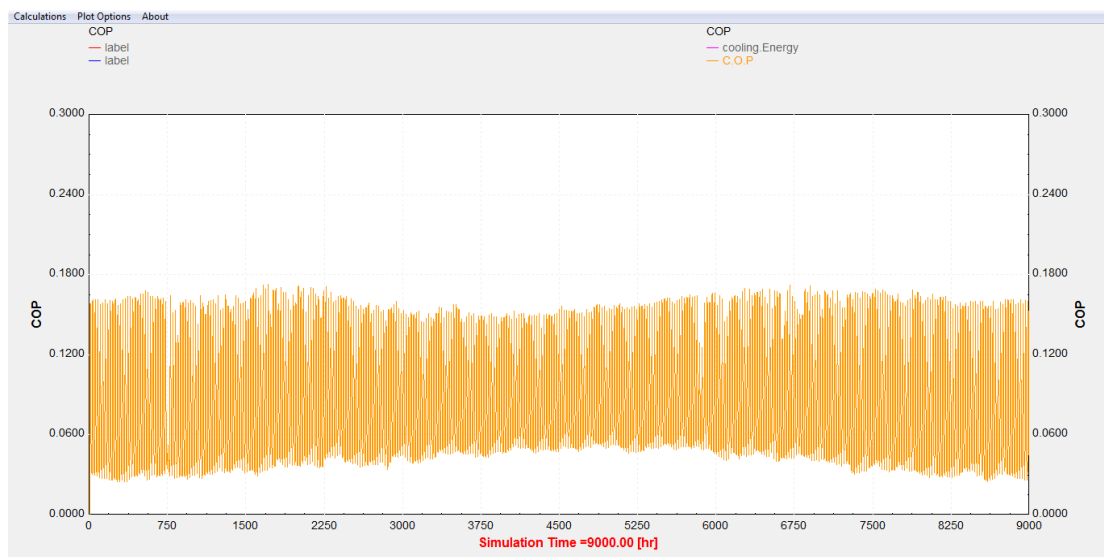
Figure 3.13: variation de température de capteur

Dans la figure au ci-dessus on remarque que la variation de température de capteur est toujours plus de 20 °C et augmentent jusqu'à la valeur de 45 °C, cela est dû à la situation géographique de la ville de Ouargla et les températures ambiantes extérieures qui sont élevées la plupart des jours de l'année.



**Figure 3.14:** variation d'énergie utile produit par le capteur

La figure 3.14 montre la variation annuelle de l'énergie utile fournie par le capteur solaire nous regardons que l'énergie produite est très grand presque a tous l'année et ça revient aux les valeurs du rayonnement solaire qui sont très élevé et la durée de l'enseillement. .



**Figure 3.15:** variation de COP d'une machine a absorption (capteur plan)



**Figure 3.16:** variation de COP d'une machine a absorption (Performance Map Collector)

Dans la figure(3.15) ci-dessus en remarque que les valeurs du coefficient (COP) pour la machine a absorption sont faible cela est dû à l'efficacité du différent composant de la machine a absorption (absorbeur, générateur, condenseur, évaporateur), mais on ne peut pas intervenir au niveau de la machine a absorption, car cette dernière est la seule proposer par le logiciel TRNSYS, ainsi à cause du type du couple fluide frigorigène utilisé, et le type de capteur implanter dans le cycle, à titre d'exemple l'utilisation de type(Performance Map Collector) a augmenté la performance du cycle total environnent de 26% (Figure 3.16), Sans oublier la température d'entrée (20 °C ), et le nombre des capteurs utilisés (un seul capteur dans notre cas).

#### **Rendement du cycle total (cycle frigorifique+ capteur) :**

Le rendement du cycle totale est égale le produit du COP de cycle frigorifique et le rendement de capteur solaire :

$$\eta_{TOT} = \text{COP}_{\text{Fri}} * \eta_{\text{cap}}$$

**Cas :** (capteur plan)

$$\eta_{TOT} = 0.17 * 0.8$$

$$= 0.136$$

Pour améliorer le rendement de cycle total on ajoute d'autres capteurs solaires en série afin qu'augmenter la température de sortie de capteur, ou bien remplacer le capteur complètement par un autre ayant un rendement plusse élevée ou avais une surface de captage plus grande.

## **Conclusion générale**

La réfrigération par voie solaire nous permettons de faire une économie sur l'utilisation des énergies rationnelles, ça conduit a une réduction majeure des émissions des gaz a effet de serre et d'éviter les coupures de l'électricité pendant l'été qui représente une attribution pour l'environnement local et international et d'économie nationale.

Les différentes technologies de production de froid à partir de l'énergie solaire ont été présentées. Elles sont évaluées et comparées entre elles (pour les trois technologies commercialement disponibles) ainsi qu'à des solutions classiques (non solaires) servant de référence. Il est montré qu'il existe une parfaite adéquation entre le gisement solaire et les besoins de rafraîchissement.

À partir de cette étude nous permettons d'approfondit nos connaissances sur les cycles frigorifiques et surtout le cycle a absorption, ainsi que la maitrise du logiciel TRNSYS qui est un outil très puissant de simulation dynamique surtout pour le thermique de bâtiments, utilisé largement au niveau des bureaux d'études et par les chercheurs dans le domaine de l'énergie du bâtiment. .

### **Recommandations**

- De faire une étude pour d'autres villes algériennes ;
- D'étudier la possibilité d'utiliser le cycle à absorption pour d'autres applications (chauffage, séparation des gaz .....);
- Tester plusieurs capteurs solaires pour chercher le capteur adapté à ce cycle ;
- Intégrer un autre type du cycle d'absorption dans la bibliothèque du TRNSYS ;
- Faire une étude pour climatisation centralisée (bâtiment à grande échelle, établissement à grande surface.....).

# ***Bibliographie***

- [1] **BENAHMED Lamia. BEN MOSTEFA Fatima Zahra**, Intégration d'un système de rafraîchissement solaire au bâtiment Faisabilité technico-économique, mémoire de fin d'études, 2013, Université Abou Baker Belkaid Tlemcen.
- [2] **Ministère de l'énergie et des mines**, 2012, consommation énergétique finale en Algérie.
- [3] **ABDELOUAHED DAHMANI**, Utilisation des éjecteurs pour améliorer les performances des systèmes de réfrigération, Mémoire de maîtrise, 2011, UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE(CANADA).
- [4] **MARVILLET Christophe**, encyclopédie de l'énergie, article074 : Usage et production de froid ,2015.
- [5] **OLIVIER PERROT**, cours de : machines frigorifiques, 2010/2011, Département Génie Thermique et énergie, I.U.T. de Saint-Omer Dunkerque.
- [6] **DERDARI Mohamed.DOU Brahim. DRIHEM Omar**, Étude D'un Cycle À Éjecto – Compression, mémoire de fin d'études 2011, Université De Kasdi Merbah Ouargla.
- [7] **BOUMARAF. L. LALLEMAND. A**, modélisation d'une machine de climatisation tri-thermes a ejecto-compresseur, 2002, P28.
- [8] **DERGHOUT. Z**, investigation du cycle de réfrigération à éjecto-compression et ses applications dans le froid, le chaud et l'énergie, mémoire de magister, 2007, Université Mentouri Constantine ,2007. P17.18.19.
- [9] **DENIS LEDUCQ, CEMAGREF**, cours de : Froid et Environnement, 2009, P 19. 45.46.47.48.
- [10] **THIBAUT VITEE**, Le froid solaire par dessiccation appliqué au bâtiment, Proposition D'une stratégie de régulation du système, thèse de doctorat, 2007 – INSA Lyon – P5.
- [11] **étude de faisabilité pour une installation de climatisation solaire pour le siège social EDM**, Département de Mayotte, Juillet 2013, P5.6.
- [12] **AMZIANE Mohamed AMZIANE**, Etude comparative entre les systèmes de climatisation classiques et solaires application à la climatisation d'un immeuble, mémoire Pour l'obtention du diplôme de Magistère,2014 , Université Abou Baker Belkaid Tlemcen,

[13] **BENNOUI MOHAMED SALAH**, Optimisation des procédés de climatisation solaire, mémoire Pour l'obtention du diplôme de Magistère, 2013, Université De Constantine1, P9.

[14] **Ahmed BELLAGI, RADHOUANE BEN JEMAA**, Etude d'une installation de climatisation solaire, Unité de Recherche en Thermique et Thermodynamique des Procédés Industriels, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir, Tunisie.

[15] **OLIVIER MARC**, Etude expérimentale, modélisation et optimisation d'un procédé de rafraîchissement solaire à absorption couplé au bâtiment, Thèse Pour Obtenir Le Grade De Docteur, 2010, Université De La Reunion,P6 ,7,8.

[16] <http://www.climamaison.com/lexique/capteur-solaire.htm>

[17] **BENBOUZA CHAOUKI**, Production et performance des capteurs hybrides (PV/T) à eau intégrés dans le bâtiment-cas de l'Algérie, mémoire Pour l'obtention du diplôme de Magistère En Génie Climatique, 2014, Université De Constantine1, P21.

[18] **BEN GUEHZA MOHAMMED LAHKDAR**, Impact De L'espace Entre Les Deux Vitrages Sur Le Rendement D'un Capteur Solaire, mémoire Pour l'obtention du diplôme de Magistère, 2009, Université De Kasdi Merbah Ouargla, P 61.

[19] **AGHILAS BRAHIMI**, Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau, Mémoire de Master, Année universitaire 2015-2016, Université De Lorraine.

[20] **Ministère de l'énergie et des mines**, 2013, bilan énergétique national.

[21] **BELKESSAM HAFIDH**, Contribution à la valorisation de l'utilisation de l'énergie solaire pour des besoins de climatisation et de conditionnement d'air , mémoire pour obtention du diplôme de magister, 2014 , Université Abou Baker Belkaid Tlemcen , P 108,109.

[22] **DIF Abdallah**, Impact De Facteur De Forme Sur La Consommation Energétique Dans Les Bâtiments (Différentes Régions En Algérie), Mémoire de master, 2013, Université de Kasdi Merbah Ouargla, P 38, 39.



INTRODUCTION  
GÉNÉRALE

# CHAPITRE 1

**RECHERCHE**

**BIBLIOGRAPHIQUE**

# CHAPITRE 2

## CLIMATISATION SOLAIRE

# CHAPITRE 3

## RÉSULTATS DE SIMULATION ET DISCUSSION

# CONCLUSION