

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Abou Bakr Belkaid-TLEMCEM-

Faculté de Technologie

Département de génie mécanique



*Mémoire de fin étude pour l'obtention du diplôme de  
Master  
Option : Génie énergétique*

*Thème :*

**ETUDE COMPARATIVE ENTRE LES SYSTÈMES DE  
CLIMATISATION CLASSIQUE ET SOLAIRE  
APPLICATION À LA CLIMATISATION D'UN  
IMMEUBLE**

Présenté par :

❖ *GRARI*

*Fatima-Zahra*

❖ *GUENDOZ*

*Rafika*

Devant le jury composé de :

**Mr.KORTI A.N**

Président

**MCA** Université de Tlemcen

**Mr.ZINAI A**

Examineur

**MAA** Université de Tlemcen

**Mr.BENRAMDANE M**

Examineur

**MAA** Université de Tlemcen

**Mr.ALIANE A**

Encadreur

**MAA** Université de Tlemcen

**Mr.GUENDOZ B**

Co-Encadreur

**DOC** Université de Tlemcen

ANNEE UNIVERSITAIRE: 2012-2013

*Dédicace...*



*Au nom d'Allah, le tout miséricordieux, le très miséricordieux,*

*Tout d'abord je tiens à remercier le tout puissant de m'avoir donné le courage et la Patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce modeste travail que je le dédie à :*

*Mes très chère parents « AHMED et MERIEM » qui m'ont soutenu et encouragé durant toute ma vie.*

*Mes frère « Mohammed et Abd elhak »*

*Mes sœurs « Djamilia et lamai, Karima »*

*Les enfants « ben Yousef-chorouk-Farah-Yacine-mbereka-Mohammed-kawter »*

*A toute ma famille « GUENDOZ »*

*Mon binôme FATIMA\_ZAHRA*

*Tous mes amis, en particulier WAHIBA-WAFA-HOUDA- AFAF-ZAKI-YOUNES*

*Toute la promotion GENEI ENERGIQUE 2013.*

*Tous mes collègues sans exception.*

*A vous ... merci*

*RAFIKA*

*Dédicace...*



*Au nom d'Allah, le tout miséricordieux, le très miséricordieux,*

*Tout d'abord je tiens à remercier le tout puissant de m'avoir donné le courage et la Patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce modeste travail que je le dédie à :*

*Mes très chère parents «HOSINEet KHEIRA» qui m'ont soutenu et encouragé durant Toute ma vie.*

*Mes frère « -Abd el kèder-Mohammed –Boumediene et Saïd »*

*A toute ma famille*

*Mon binôme RAFIKA.*

*Tous mes amis, en particulier HANANE-MALIKA-FATIMA.YOUNES.AFAF.*

*Toute la promotion GENEI ENERGIQUE 2013.*

*Tous mes collèges sans exception.*

*A vous ... merci*

*FATIMA\_ZAHRA*

# Remerciement

*Toute notre parfaite gratitude grâce et remerciement à Allah plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.*

*Nous tenons à remercier chaleureusement notre promoteur Mr. ALLIANE.A pour son aide et son encadrement durant toute la période de préparation de ce mémoire.*

*Nous exprimant mes reconnaissance à tous les membres de jury Mr. KORTI.A.N et Mr. ZINAI.A, Mr. BENRAMDANE.N d'avoir accepté de lire ce manuscrit et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme finale de cet ouvrage.*

*Nous remercions Mr. GUENDOZ BOUHELEL pour son assistance et son aide surtout en ce qui concerne le logiciel TRNSYS.*

*Et également nos remerciements HACHEMI Hichem collègue de nous avoir aidé à effectuer ce travail.*

*Enfin, à tous ceux et celles qui de près ou de loin ont contribué à la Réalisation de ce travail, nous dis merci.*

**GRARI FATIMA\_ZAHRA**

**GUENDOZ RAFIKA**

## **Chapitre I : Revue bibliographique concernant la climatisation**

I.1	Introduction .....	4
I.2	Le froid dans une planète en réchauffement .....	4
I.2.1	Effet de serre .....	4
I.2.2	Les Fluides Frigorigènes.....	5
I.2.3	Couche d'ozone .....	6
I.2.3.1	Les CFC et la couche d'ozone .....	6
I.2.3.2	Chlore plus ozone .....	6
I.2.3.3	La pollution à l'ozone .....	8
I.2.4	La consommation d'énergie .....	8
I.3	Marché de climatisation.....	9
I.3.1	Le taux d'équipement en climatisation dans le monde .....	9
I.4	Etat de l'art dans le domaine .....	12
I.4.1	Vue d'ensembles des technologies de production de froid solaire.....	12
I.4.2	Description des technologies de climatisation solaire .....	13
I.4.2.1	Techniques basées sur l'emploi de l'électricité .....	13
I.4.2.2	Techniques basées sur un processus thermomécanique .....	13
I.4.2.3	Techniques basées sur la sorption d'un gaz .....	14
I.4.3	Les différentes techniques de climatisation solaire au stade commercial .....	14
I.5	Climatisation solaire .....	14
I.6	Discussion Technico-économique.....	16
I.6.1	l'économie d'argent .....	17
I.6.2	Economies d'énergie et énergies renouvelables .....	17
I.7	Conclusion .....	17

## **Chapitre II : Description des installations de climatisation**

II.1	Introduction .....	20
II.2	Les systèmes à compression.....	20
II.2.1	Le cycle de système de compression.....	21
II.2.1.1	Le compresseur:.....	21
II.2.1.2	L'évaporateur .....	22
II.2.1.3	Le condenseur .....	22
II.2.1.4	Le détendeur .....	23
II.2.2	L'efficacités énergétiques ou COP froid .....	23

II.3	Systems à absorption .....	24
II.3.1	Le principe de fonctionnement d'un système à absorption.....	24
II.4	Système adsorption.....	25
II.4.1	Groupes de production de froid à adsorption .....	25
II.4.2	La machine à adsorption .....	25
II.4.3	L'efficacité énergétique ou $COP_{\text{froid}}$ : .....	27
II.5	Systèmes Dessiccant cooling .....	27
II.5.1	Le rafraîchissement évaporatif potentialisé par Dessiccation .....	28
II.6	Système solaire .....	28
II.6.1	La puissance rayonnée .....	28
II.6.2	Les capteurs solaires.....	29
II.6.2.1	les différents types de capteurs solaires .....	30
II.6.2.1.1	Les capteurs solaires thermiques.....	30
II.6.2.1.2	Les capteurs solaires photovoltaïques .....	34
II.6.2.2	L'orientation des capteurs .....	35
II.6.2.3	L'inclinaison des capteurs .....	36
II.6.2.4	Le positionnement des capteurs .....	36
II.6.3	Le ballon de stockage d'eau chaude.....	37
II.6.4	Système à compression .....	38
II.6.5	Système ouvert .....	39
II.6.6	la climatisation à absorption.....	40
II.6.7	la climatisation à adsorption .....	41
II.7	Comparaison technico-économique .....	44
II.7.1	comparaison des COP .....	44
II.7.2	Comparaison des techniques de climatisation solaire commerciales : .....	45
II.7.2.1	Les différents systèmes .....	48
II.8	Conclusion .....	49

### **Chapitre III : Etude comparative entre un système de climatisation classique et un système solaire**

III.1	Introduction .....	51
III.2	Aperçu sur TRNSYS.....	51
III.2.1	Avantages .....	52
III.2.2	Inconvénients .....	52

III.2.3	TRNSYS Simulation Studio.....	54
III.3	Modélisation De La Maison.....	54
III.3.1	Création du modèle de référence.....	54
III.3.2	Le modèle de la maison a été créé à l'aide des plans suivant.....	56
III.3.3	Définition des zones.....	58
III.4	Simulation d'une installation de climatisation à absorption d'un bloc multizone.....	59
III.5	Simulation de l'installation de climatisation solaire à absorption.....	61
III.6	Comparaison des performances.....	62
III.7	Conclusion.....	69

# Introduction générale

La diminution des réserves des combustibles fossiles ainsi que les dommages irréversibles causés par leur combustion est un des plus grands problèmes planétaires actuels. La climatisation s'est trouvée parmi les secteurs les plus concernés par les protocoles internationaux visant à contrôler les gaz à effet de serre.

L'augmentation de la teneur en gaz frigorigènes de l'atmosphère est à la base du réchauffement global de la planète qui a déjà commencé à causer des préjudices irrévocables sur notre environnement.

La meilleure manière de réduire l'impact des nuisances environnementales dues à la combustion des énergies fossiles est de limiter celle-ci en diminuant au maximum nos consommations d'énergie.

Grâce au soleil, d'énormes quantités d'énergies **atteignent** la surface de la Terre après avoir parcouru une distance d'environ 150 millions de kilomètres.

Il devient impératif de développer des solutions alternatives mettant en valeur les différentes formes des énergies renouvelables, en particulier le solaire thermique. L'idée de la production du froid en utilisant l'énergie solaire sont lancés dans le monde entier pour développer cette technologie du futur et qui pourrait remplacer avantageusement les systèmes de climatisation traditionnels **très énergivores**.

L'objectif de ce travail est de présenter une simulation d'une deux installations, une installation de climatisation classique à machine absorption et une installation de rafraîchissement solaire à machine absorption dans le but d'optimisation de ses performances. L'application sera faite sur un local multizone.

Nous avons articulé l'exposé de nos travaux autour de trois parties :

Le chapitre I est consacré à la présentation d'une recherche bibliographique concernant la climatisation tenant compte de la consommation énergétique mondiale dédiée au confort thermique. La climatisation solaire est également évoquée.

Le deuxième chapitre explique les différentes méthodes de climatisation classique et solaire, les méthodes d'exploitation de l'énergie solaire et les types de capteurs solaires les plus utilisés.

Avant de terminer par une conclusion générale, le dernier chapitre est dédié à la comparaison de deux installations de climatisation (conventionnelle et solaire) d'un local multizone dans la région de Tlemcen. L'étude est faite sous environnement TRNSYS. Des résultats sont exposés et discutés.

## I.1 Introduction

Le confort est le souci majeur de l'homme l'un des modes de confort thermique est la climatisation classique. On parle de la climatisation, lorsqu'on régularise la température extérieure à une température ambiante. Afin d'étudier ce phénomène on doit respecter plusieurs choses, tel que la techniques de la climatisation et leur cout économiques.

Dans ce premier chapitre, on va exposer en détaille les problèmes technologique de la climatisation ainsi son effet sur l'environnement.

La climatisation ou le conditionnement de l'air est une technique qui consiste à modifier contrôler et réguler les conditions climatiques (température, humidité, niveau de poussières, etc.) d'un bâti (bureaux, maisons individuelles) pour des raisons de confort où des raisons techniques (laboratoires médicaux, locaux de fabrication de composants électroniques, blocs opératoires, salles informatiques).

## I.2 Le froid dans une planète en réchauffement

Les problèmes majeur de la climatisation classique est les suivantes :

- La consommation d'énergies fossiles : c'est une des principales sources de la dégradation de l'environnement.

- L'effet de serre : L'usage massif de ces combustibles a déjà commencé à dérégler le système climatique de la terre et menace la survie de l'humanité. Depuis 1990, on a vécu les plus chaudes années de la terre.

- la présente des avantages et des inconvénients sanitaires, mais aussi des risques pour l'environnement.

- Elle fait souvent appel à des dispositifs frigorigènes utilisant des gaz à effet de serre et dont une partie s'échappe inévitablement dans l'atmosphère.

- Le trou d'ozone, le réchauffement de la planète font partie des maux de cette décennie. La climatisation et en particulier les fluides frigorigènes sont montrés du doigt.

### I.2.1 Effet de serre

L'effet de serre est un phénomène naturel qui existe depuis que la terre est la terre. Il a évolué depuis les origines mais il est responsable de la vie telle que nous la connaissons et

dont nous faisons partie Comme tout phénomène naturel, l'effet de serre est simple dans son principe et compliqué dans son mécanisme, soumis à de nombreux facteurs.

Le rayonnement solaire direct peu être absorber par l'atmosphère terrestre il chauffe la surface du sol et renvoie un rayonnement vers l'espace. Ce rayonnement est peu absorbé par l'azote et l'oxygène composants principaux de l'atmosphère. Par contre, il n'en est pas de même pour certains composants dits secondaires de la couche gazeuse de notre planète. La vapeur d'eau, le gaz carbonique, le méthane, l'oxyde nitreux, l'ozone ont un pouvoir d'absorption important pour le rayonnement évacuant la chaleur émise par la terre.

A ces gaz présents dans les cycles naturels s'ajoutent des gaz synthétisés industriellement. Cette couverture de gaz à fort pouvoir absorbant joue le même rôle que celui d'un toit de serre en s'opposant à la déperdition de la totalité de la chaleur reçue du soleil.

Lors de la formation de la terre, l'atmosphère était principalement composée de gaz carbonique, d'azote et de vapeur d'eau. Bien que le rayonnement solaire était plus faible que de nos jours, l'important effet de serre exercé par cette atmosphère a permis d'assurer une température favorable à l'apparition de la vie. Ainsi ont pu apparaître les premières plantes unicellulaires, résultant de la photosynthèse, qui ont été de fait les premiers pollueurs de l'atmosphère en générant de l'oxygène aux dépends du gaz carbonique. La diminution de l'effet de serre qui en est résulté a heureusement été compensée par un accroissement du rayonnement solaire. [12]

L'accroissement de l'effet de serre est une réalité et ses effets, à la lumière des travaux les plus récents, risquent d'atteindre des seuils aux conséquences irréversibles.

Actuellement, l'impact environnemental le plus préoccupant en ce qui concerne la production du froid est l'effet de serre. Il n'est pas inutile de rappeler que l'effet de serre naturel est nécessaire pour la vie sur terre mais que son évolution nous inquiète.

### **I.2.2 Les Fluides Frigorigènes**

Les fluides frigorigènes utilisés dans les cycles thermodynamiques frigorifiques utilisant une compression mécanique sont de redoutables gaz à effet de serre.

Dans les installations frigorifiques, on utilise des fluides dont la température d'ébullition est de l'ordre de - 25°C. Le fluide le plus utilisé a été le réfrigérant R12 faisant partie de la famille des CFC (chlorofluorocarbone).et Tous les gaz qui contribuent par l'accroissement de

l'effet de serre au réchauffement global et au changement climatique ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ...) sont principalement issus de la combustion des carburants fossiles et de l'activité industrielle.

Les CFC (R 12, R 11, ...) et dans une moindre mesure, les HCFC (R 22...) ont un rôle important dans la destruction de la couche d'ozone qui si elle se poursuivait, pourrait menacer la vie sur la terre. HFC dont le pouvoir en termes d'effet de serre est 2.000 fois plus fortes que celui du  $\text{CO}_2$ .

Les pluies acides sont une forme de pollution atmosphérique causée par les oxydes de soufre et les oxydes d'azote. [1]

### I.2.3 Couche d'ozone

La destruction de la couche d'ozone les composés halogénés chlorés étaient les seuls en cause tout les composés halogénés fluorés sont à l'origine de l'effet de serre. L'éradication des composés chlorés et leur remplacement par des composés fluorés non chlorés ont déplacé les problèmes d'impact sur l'environnement de la couche d'ozone vers l'effet de serre mais sans résoudre réellement le problème d'environnement.

#### I.2.3.1 Les CFC et la couche d'ozone

La principale caractéristique est que les CFC contiennent du chlore. Par leur grande stabilité les CFC migrent en altitude. Quand ils arrivent au sommet de la couche d'ozone, les ultra violet (UV) activent leur décomposition chimique et libèrent du chlore.

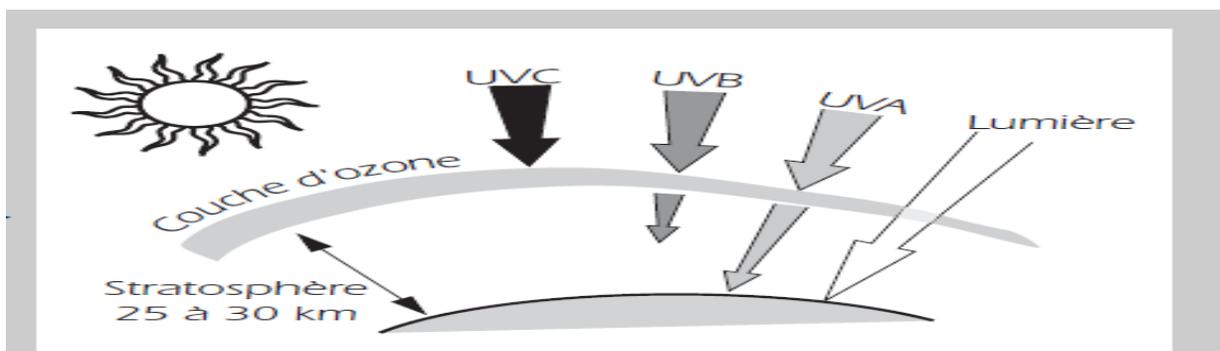


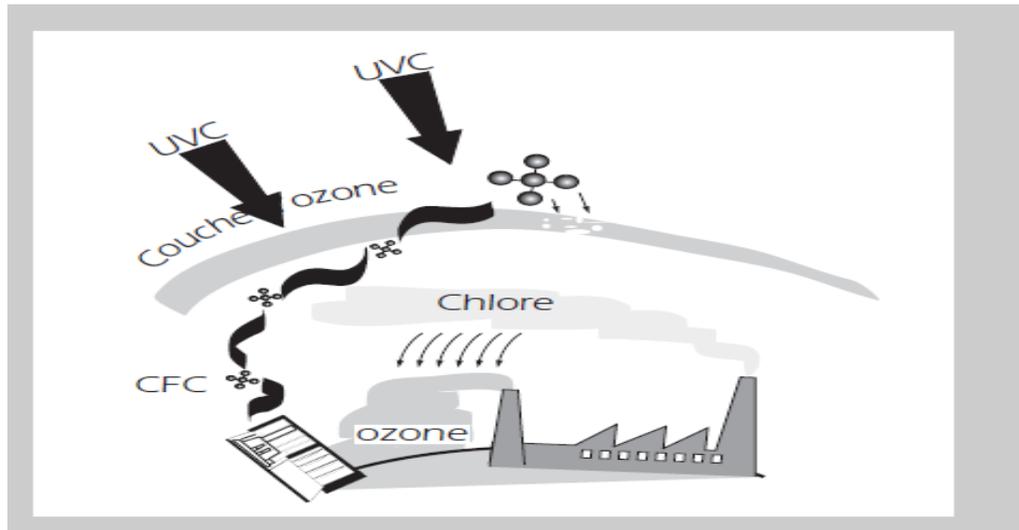
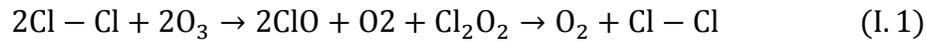
Figure (I.01) couche d'ozone [1]

#### I.2.3.2 Chlore plus ozone

L'ozone est une molécule formée par 3 atomes d'oxygène. Entre 25 et 35 km au dessus de l'atmosphère, il existe une grande concentration d'ozone sous une fine épaisseur : c'est la

fameuse couche d'ozone. Cette couche filtre une grande partie des rayons ultraviolets du soleil (sans cette protection, la vie ne serait pas possible).

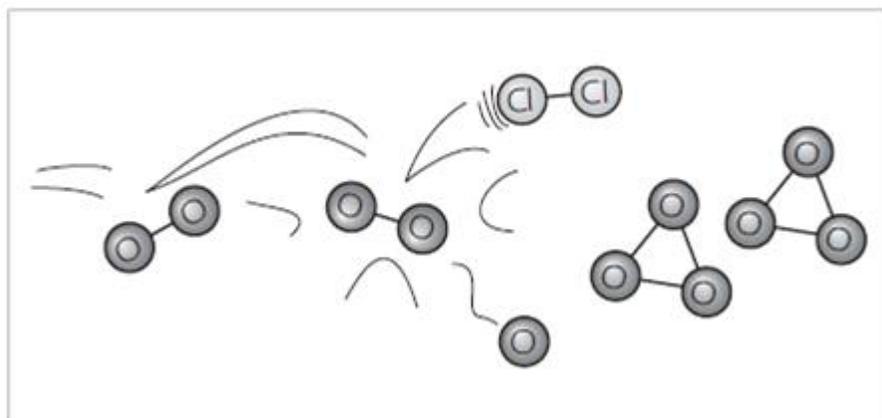
La réaction chlore-ozone est une réaction de type propagation de chaîne :



**Figure (I.02)** les gaz l'effet serre [1]

Pendant la réaction une molécule d'ozone est détruite mais le chlore est régénéré et peut ainsi réagir avec une autre molécule d'ozone. Une molécule de chlore peut détruire 200 000 molécules d'ozone.

**Remarque :** les CFC ont une durée de vie de 120 ans le trou actuel est dû essentiellement aux CFC des années 40.



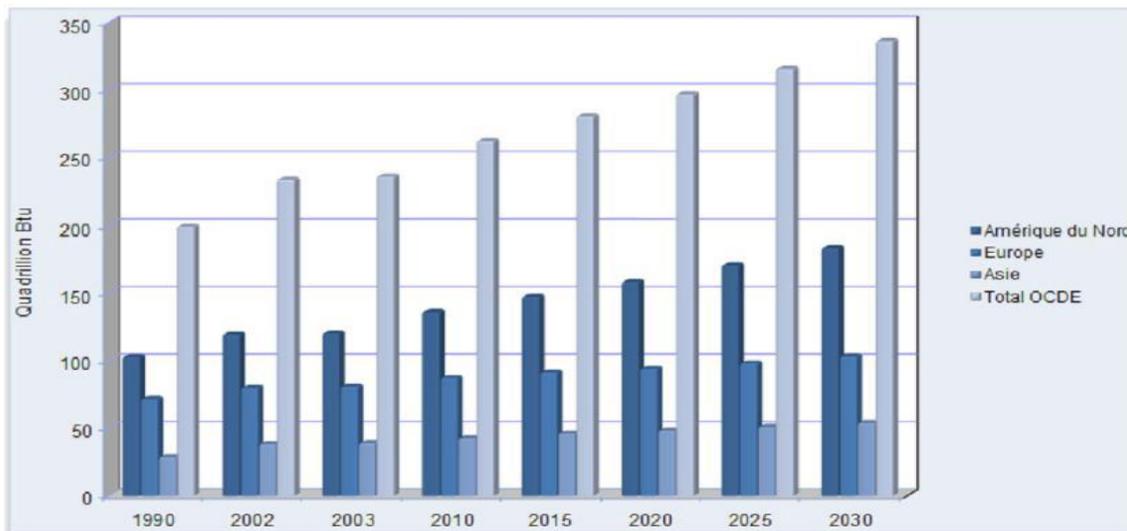
**Figure (I.03)** Réaction du chlore avec l'ozone [1]

### I.2.3.3 La pollution à l'ozone

L'activité industrielle produit aussi de l'ozone. Cet ozone apparaît par beau temps, haute pression et journées ensoleillées. Les molécules restent au niveau du sol et ne peuvent monter vers les couches supérieures de l'atmosphère. Elles ne servent malheureusement qu'à irriter nos bronches. [1]

### I.2.4 La consommation d'énergie

Les estimations de la consommation énergétique mondiale de 2003 à 2030 font état d'une augmentation de l'ordre de 71%. Comme le montre la figure I-04 le profil général de cette évolution est le même quelque soit la région du globe observée. On note une reprise très sensible de l'augmentation de cette consommation après une phase de latence entre 2002 et 2003.



**Figure(I.04)** Historique et prévisions de la consommation énergétique par région. [2]

La figure I.04 met en exergue le fait que la plupart de nos besoins énergétiques seront, à Moyen terme toujours couverts par les énergies fossiles. L'utilisation des énergies fossiles est importante. A l'heure actuelle, les ressources fossiles sont encore abondantes. Mais il est aujourd'hui plus clair que jamais, que nos ressources en énergies fossiles s'épuisent à une vitesse incroyable. Pour le cas du charbon, si l'on maintient le niveau actuel de la consommation mondiale, on disposerait, d'un délai de 180 ans de consommation avant épuisement total.

### I.3 Marché de climatisation

Le marché mondial de la climatisation est toujours en expansion et a été estimé à 39,7 millions d'appareils vendus en 2000. [3]

Ce résultat se répartit entre 29,9 millions d'unités RAC (Room Air Conditioners, c'est à dire climatiseurs individuels) et 9,8 millions d'unités CAC (Central Air Conditioners, c'est à dire climatisation centralisée).

Le marché Américain reste le premier avec 13,2 millions d'unités vendues en 2000 avec une croissance de 3,1%.

Le marché Chinois explose avec 9,2 millions d'unités vendues.

Le marché Japonais a connu une croissance de 9% entre 1999 et 2000, passant ainsi à 7,7 millions d'unités vendues en 2000. En 2000, le marché mondial de la climatisation était estimé à 35 milliards de US\$. [4]

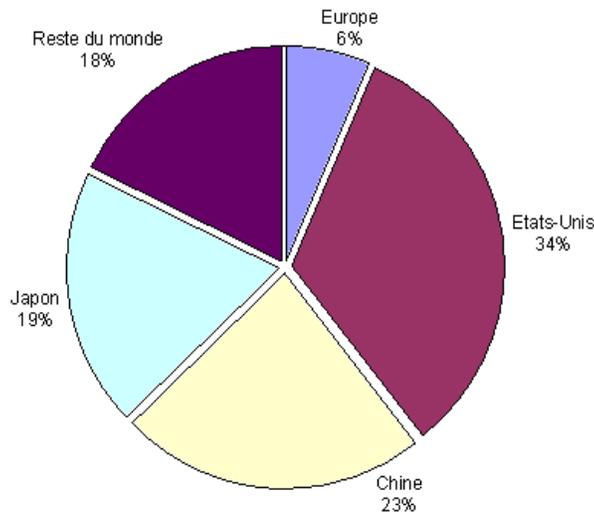


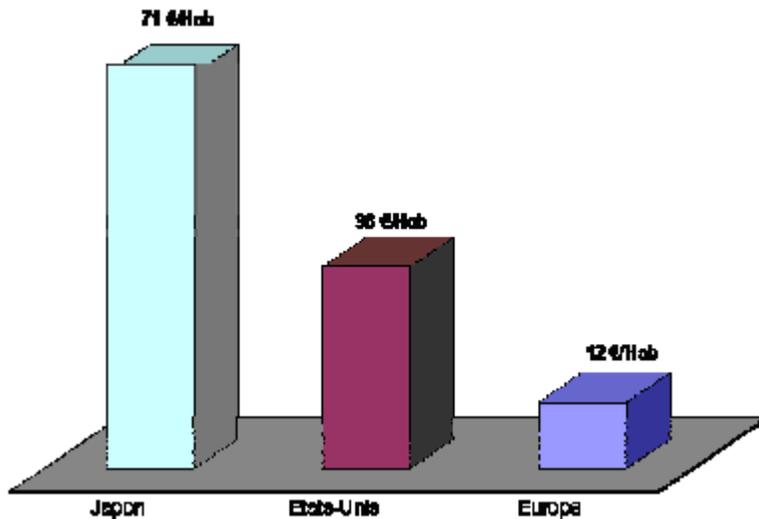
Figure (I.05) Marché mondial de la climatisation en 2000. [5]

#### I.3.1 Le taux d'équipement en climatisation dans le monde [5]

Les climatiseurs sont plus répandus dans le secteur tertiaire. Le taux d'équipement en Europe est très en deçà des valeurs des autres pays de l'OCDE (100 % au Japon et 80 % aux Etats-Unis).

PAYS	tertiaire
Japan	100%
Etats-Unis	80%
Europe	27%

**Tableau(I.01)** Taux d'équipement en climatisation dans le monde en 1997[5]



**Figure (I.06)** Dépense annuelle consacrée à la climatisation dans le monde [5]

En 2006 la valeur totale du marché de la climatisation mondiale a été estimée à 53,4 milliards de dollars US, c'est-à-dire 7% de plus que l'année précédente. Pour la première fois, des appareils tels que les convecteurs-ventilateurs ont été inclus. En 2006, ce marché a atteint 4,407 milliards de dollars, dont 30% aux Etats-Unis. [6]

L'Inde et la Russie ont réalisé une croissance rapide avec une augmentation respective de 23% et 21%. Le Brésil a réalisé un record de vente des appareils mini split avec 50% de croissance comparativement à 2005.

Courant 2006, le marché européen des mini-split a stagné à environ 6,3 millions d'unités. Cela était surtout dû à la baisse de 12% en Italie et de 20% en Espagne. La faible croissance en Grèce et l'explosion du marché russe ont en quelque sorte compensée ces résultats décevants.

L'Ukraine est devenue l'un des marchés primordiaux en Europe pour les mini-split et l'on s'attend à ce qu'elle dépasse bientôt la Grande Bretagne.

Pour la plupart des pays asiatiques tels que la Corée du Sud et la Thaïlande, 2006 était une année décevante, avec une baisse du marché des split. Cela était dû entre autres à la faible évolution des salaires associée aux baisses de vente dans la climatisation résidentielle.

Le marché des chiller a augmenté partout grâce aux nouveaux marchés tels que l'Inde, la Chine, le Brésil et le Moyen Orient où la croissance de valeur a dépassé 15 à 20% par an. Le marché chinois a dépassé le milliard de dollars.

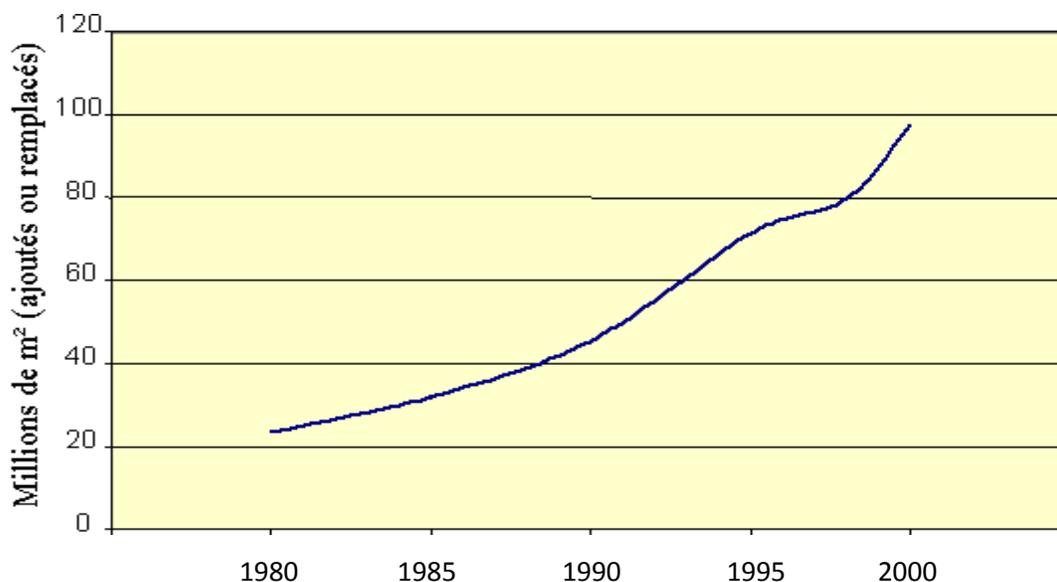
La vente des monoblocs a augmenté partout d'environ 2% avec une baisse en Autriche et en France. Le marché indien a augmenté de 26% grâce au succès des appareils gainables.

Les prix des mini-split sont restés bas dans toutes les régions suite à la concurrence soutenue.

Malgré cela, les prix ont augmenté de 1 à 2% en moyenne suite aux coûts élevés des matières premières.

La sensibilisation de la population quant à l'environnement et les technologies vertes se répercutera sur l'utilisation des climatiseurs dans les marchés déjà saturés déclenchant une tendance vers de nouveaux produits. [6]

La forte augmentation observée depuis quelques années de la demande en rafraîchissement et en climatisation des bâtiments a ouvert un nouveau marché celui de la climatisation solaire. Actuellement, c'est le marché des climatiseurs électriques qui est en forte croissance. Par exemple en 2008, les ventes de ce type de climatiseurs de petites puissances inférieures à 5 kW froid ont été proches de 82 millions d'unités dans le monde dont 8.6 millions en Europe [7]



**Figure (I.07)** Augmentation de la surface climatisée par des installations centralisées entre 1980 et 2000 en l'Europe [8]

Le marché de la climatisation centralisée croît fortement en Europe depuis plusieurs années. Dans l'étude EECCAC (Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners), la croissance de la surface climatisée par des installations centralisées a été estimée en Europe entre 1980 et 2000.

### **I.4 Etat de l'art dans le domaine**

#### **I.4.1 Vue d'ensembles des technologies de production de froid solaire**

Les enjeux et les avantages de la climatisation solaire ont été développés. Un système de climatisation solaire est donc formé d'une machine produisant le froid, d'un système solaire (composé de capteurs solaires thermiques et d'un dispositif de stockage), d'un réseau de distribution et éventuellement d'un dispositif d'évacuation de la chaleur.

Nous allons d'abord présenter tous les procédés permettant de produire du froid à partir de l'énergie solaire avec une emphase portée sur les procédés commercialement disponibles, à savoir les systèmes à absorption, à adsorption et le desiccant cooling. [9]

### I.4.2 Description des technologies de climatisation solaire

Il existe plusieurs voies d'utilisation de l'énergie solaire pour produire le froid. La première est basée sur l'emploi de l'électricité, la deuxième sur l'utilisation d'un procédé thermo mécanique, enfin la troisième sur des cycles basé sur la sorption d'un gaz. [9]

#### I.4.2.1 Techniques basées sur l'emploi de l'électricité

Les technologies de production de froid solaire peuvent être des systèmes frigorifiques qui sont basés sur l'utilisation de l'électricité. Dans ces cas là, l'énergie solaire est transformée en électricité grâce à des capteurs photovoltaïques puis est utilisée dans le système. Il existe deux systèmes:

- **Les systèmes à compression:** On utilise un cycle classique de compression pour produire du froid. Système classique utilisé actuellement dans le froid

- **Les systèmes à effet Peltier:** L'effet Peltier appelé aussi effet thermoélectrique est un phénomène physique de déplacement de la chaleur en présence d'un courant électrique parcourant deux matériaux conducteurs de natures différentes en contact. Ce phénomène ne permet pas d'avoir une forte puissance froide développée et n'est donc pas envisageable.

Ces deux techniques sont limitées par l'emploi de capteurs photovoltaïques ayant un faible rendement nominal (environ 12%) et un coût important, ce qui ne permet pas actuellement leur développement. La puissance appelée par un compresseur nécessite une grande surface de capteurs car leur puissance spécifique est d'environ 100 à 130 W/m<sup>2</sup>. De plus le stockage de l'électricité est coûteux et volumineux. Enfin, aujourd'hui le prix de rachat de l'électricité. [9]

#### I.4.2.2 Techniques basées sur un processus thermomécanique

L'énergie solaire est utilisée comme source de chaleur grâce à des capteurs solaires thermiques dans une machine produisant un travail mécanique lequel est à son tour utilisé pour produire du froid cite:

- **Le cycle Rankine:** La chaleur récupérée met en mouvement un fluide qui lui-même actionne une turbine produisant de l'électricité. Cette électricité peut être utilisée dans un cycle classique à compression.

- **Le cycle à jet de vapeur:** La chaleur est utilisée pour produire un jet de vapeur à très grande vitesse. Ce jet provoque dans son entourage un vide puissant qui permet de vaporiser

de l'eau à faible température dans l'évaporateur et de refroidir l'ambiance. La vapeur ainsi créée rejoint ensuite le flux primaire "moteur" et est refroidie dans le condenseur.

Ces techniques notamment le cycle à jet de vapeur en sont encore au stade recherche pour être utilisées avec l'énergie solaire.

### **I.4.2.3 Techniques basées sur la sorption d'un gaz**

La sorption est le phénomène physique par lequel une substance se fixe ou est incorporée dans une autre substance qui est dans un état physique différent étudierons. Les technologies utilisant ce phénomène physique sont à l'heure actuelle les seules techniques commercialement disponibles. Plusieurs publications établissent un état de l'art de ces technologies.

### **I.4.3 Les différentes techniques de climatisation solaire au stade commercial [5]**

Actuellement les techniques de climatisation solaire commercialisées sont les suivantes et peuvent être classées selon le mode de conversion de l'énergie solaire.

#### **Conversion de l'énergie solaire en électricité**

- ✓ Installation photovoltaïque + système à compression

#### **Conversion de l'énergie solaire en chaleur**

- ✓ Installation à absorption (cycle fermé)
- ✓ Installation à adsorption (cycle fermé)
- ✓ Installation à dessiccation (cycle ouvert)

## **I.5 Climatisation solaire**

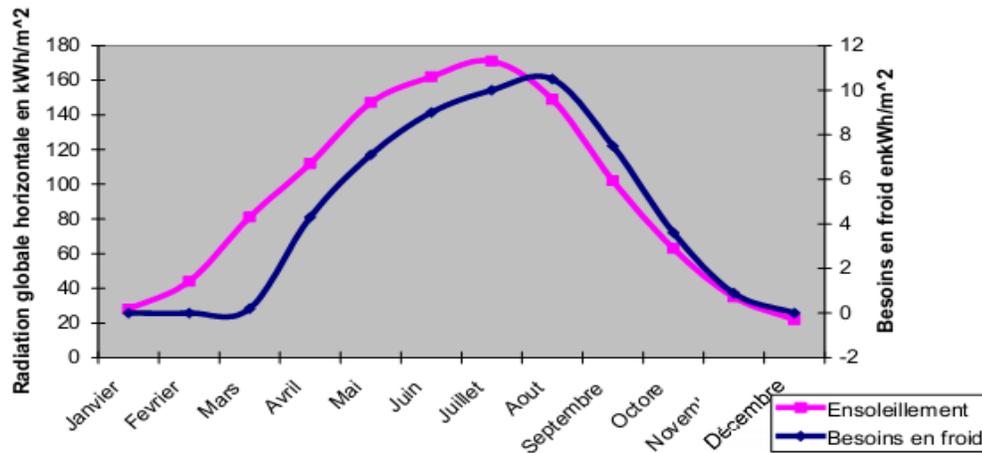
Seul l'utilisation de toutes les formes d'énergies renouvelables (solaire, éolien, hydraulique, bois et biomasse) et une augmentation de l'efficacité énergétique permettront d'éviter de piller définitivement notre planète pour nos seuls besoins immédiats.

L'échelle individuelle et pour le bien être de tous il y a au moins cinq bonnes raisons d'utiliser l'énergie solaire : préserver les ressources énergétiques faire des économies valoriser une énergie locale et inépuisable diminuer les pollutions liées aux combustions et déchets nucléaires, réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Dans la Climatisation solaire se sont en fait deux mondes qui se rencontrent et qui ont chacun fait leurs preuves de leur côté. Ces deux domaines sont explicitement cités dans la dénomination même de « Climatisation Solaire ». En effet, d'un côté on a «le monde du froid» de la climatisation et de la frigorifie et d'un autre « le monde du solaire ». Le principal enjeu

étant justement de faciliter leur rencontre, leur adéquation, leur interaction en essayant d'adapter les techniques propres de l'un à l'autre et vis versa.

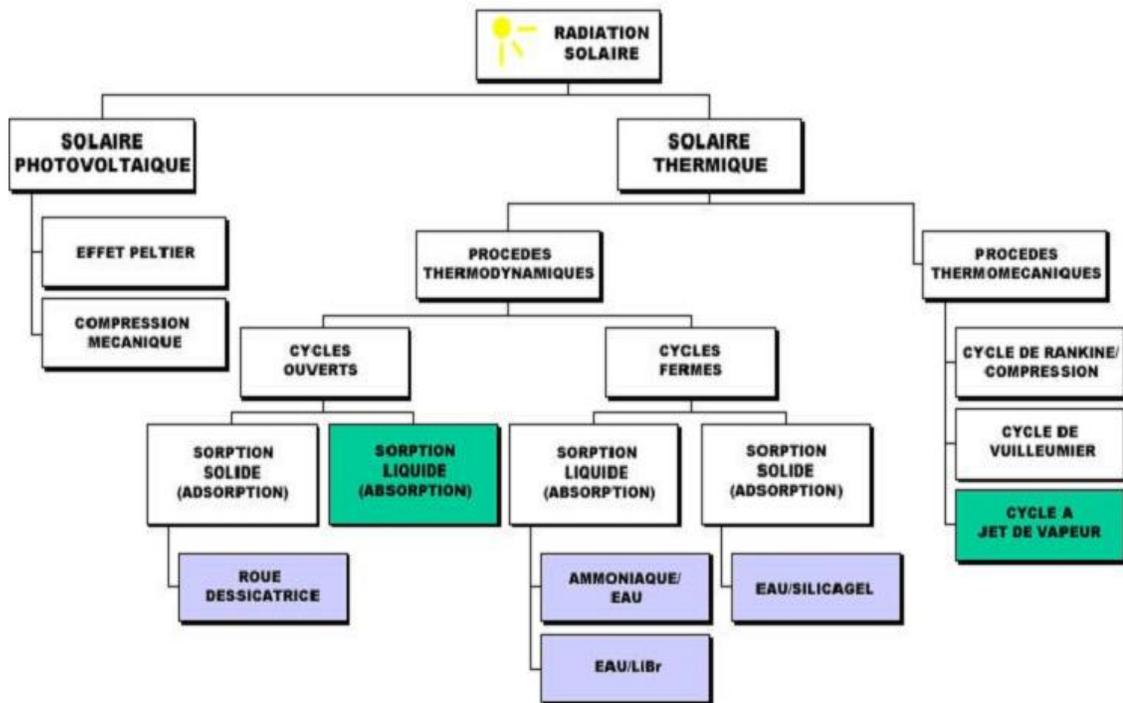
L'une des caractéristiques très intéressantes et l'un des avantages principal de la climatisation solaire est l'adéquation d'un point de vue temporel entre le besoin en froid et l'apport solaire. Ceci se vérifie aussi bien annuellement que quotidiennement lors de la période estivale. Comme on peut le voir sur la courbe suivante l'adéquation annuelle à Fribourg est presque parfaite.



**Figure (I.08)** Ensoleillement global et froid annuel à fribourg [10]

Cette idée d'adéquation entre ensoleillement et utilisation de cette énergie solaire est très importante et c'est d'ailleurs l'un des problèmes majeurs des applications classiques et éprouvées de l'énergie solaire qu'elle soit convertie en énergie électrique ou calorifique.

D'un point de vue théorique et fondamental il existe de très nombreuses manières de produire du froid avec l'énergie solaire. Le schéma ci-dessous, non exhaustif réunit tout de même une grande partie de celles ci. On retrouve en gris clair les technologies aujourd'hui utilisées et disponibles et en gris foncé les technologies à l'état de développement et de recherche.



**Figure (I.09)** organigramme des différentes technologies de production de froid à partir de l'énergie solaire. [10]

## I.6 Discussion Technico-économique

Dans les pays en développement l'enjeu en économie d'énergie (et par conséquent en économie financière) dans les grandes structures de santé est très important puisque la consommation énergétique de certains hôpitaux peut être supérieure à celle des pays européens. Par exemple la consommation des hôpitaux climatisés en Afrique subsaharienne dépasse les 400 kWh/m<sup>2</sup>/an. [11]

A titre de comparaison en 1990 les consommations dans le secteur sanitaire et social en France étaient de 320 kWh/m<sup>2</sup>/an en moyenne. Depuis les efforts engagés pour limiter les consommations en énergie ont permis une baisse jusqu'à 40% des consommations qui actuellement peuvent atteindre 200 kWh/m<sup>2</sup>/an environ pour les bâtiments neufs.

### **I.6.1 l'économie d'argent**

Vous dépensez peut-être plus d'argent pour l'énergie parce que le rendement énergétique de votre maison pourrait être amélioré ou que vous n'êtes pas sensibilisé au rendement énergétique dans vos activités quotidiennes.

Si vous n'apportez aucun changement dans ces domaines, votre facture d'énergie sera toujours plus élevée qu'elle ne devrait l'être même si vous installez un nouvel équipement de climatisation à rendement plus élevé.

### **I.6.2 Economies d'énergie et énergies renouvelables**

Inégalités criantes croissance non contrôlée de la consommation augmentation des atteintes à l'environnement gaspillage de ressources fossiles limitées.

Les générations à venir nous regarderont comme de redoutables gaspilleurs doublés d'insouciant pollueurs laissant à nos descendants le soin de s'occuper de nos déchets. De nombreuses réponses existent simples, de bon sens immédiatement applicables par tous.

### **I.7 Conclusion**

Dans ce chapitre, on a présenté les problèmes de la climatisation classique. Il est important de rappeler le contexte énergétique général et sa problématique environnementale pour bien comprendre l'urgence de la mise en place d'une réelle politique d'économies d'énergie et de développement des énergies renouvelables.

La climatisation solaire se trouve aujourd'hui à une période charnière de son développement. Il faut quand même rappeler que l'objectif premier et fondamental d'utiliser des sources d'énergies propres n'est pas de générer des revenus financiers mais de préserver notre environnement. Aujourd'hui, c'est le facteur économique et financier qui semble être le plus important aux yeux de la population.

Au rythme actuel de notre consommation, Le pétrole sera la première source d'énergie à s'épuiser vers 2040, dans moins de deux générations.

Le gaz naturel n'atteindra pas les années 2075. Il est intéressant, après avoir défini le cadre général de la problématique énergétique, de traiter maintenant le point particulier qu'est la climatisation.

## Chapitre I : Revue bibliographique concernant la climatisation

---

Il faut espérer que dans les années à venir il y ait une véritable prise de conscience générale et que les énergies renouvelables ne soient pas et plus abordées seulement sous l'aspect économique, mais sous l'aspect écologique nous permettant ainsi de comprendre que l'utilisation de ces énergies propres n'est pas seulement un « placement financier » ou une source de revenu mais une chance que l'on se donne de préserver notre Planète. C'est de cette manière que leur développement sera, le plus accompli, le plus mûri, le plus intégré et donc le plus efficace.

## II.1 Introduction

La climatisation est assurée par des machines frigorifiques. et Dans le domaine du génie climatique il existe plusieurs différents systèmes que l'on peut classer en deux types, la première conversion en électricité qu'utilisé la installation de système à compression et la deuxième conversion en chaleur avec l'installation des machines à cycles fermés (absorption, adsorption) ou cycles ouverts refroidissement à dessicant.

## II.2 Les systèmes à compression

Les refroidisseurs de liquide à compression sont des machines thermodynamiques diathermes qui fonctionnent selon un cycle proche au cycle théorique de Carnot parcouru en sens indirect (pas de récupération d'énergie au détendeur, températures variables aux échangeurs, rendement isentropique), en cycle frigorifique. Ces machines permettent de transférer de l'énergie d'une source à faible température vers une source à haute température et utilisent pour cela une énergie mécanique.

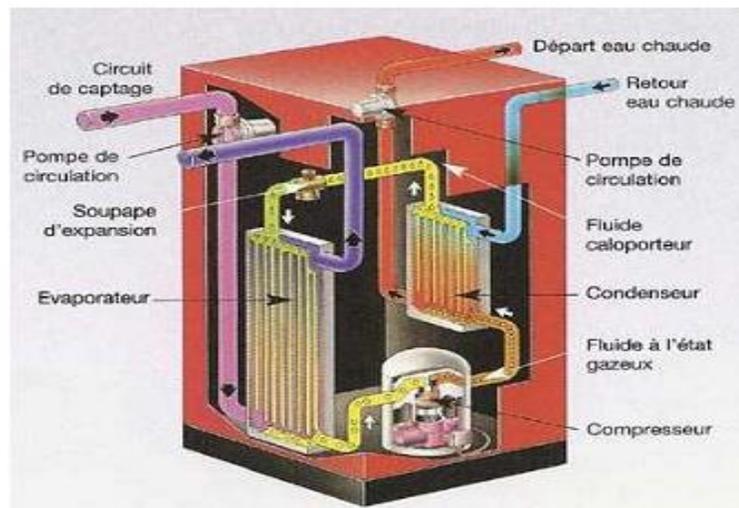
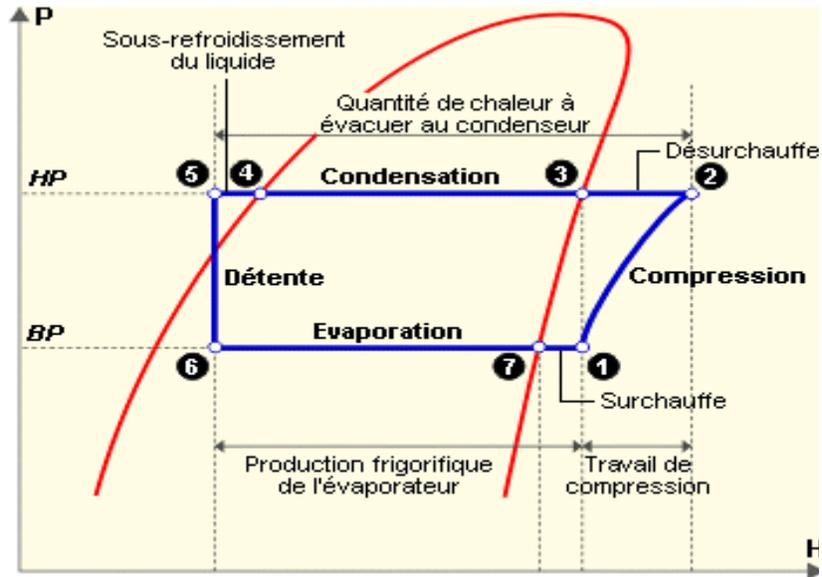


Figure (II.01) fonctionnement d'une pompe à chaleur [13]

### II.2.1 Le cycle de système de compression



Figure(II.02) Le diagramme Enthalpique du cycle frigorifique [10]

Le cycle de compression est important de préciser qu'un cycle de réfrigération comprend quatre éléments principaux qui sont: Le compresseur, l'évaporateur, le condenseur et le détenteur.

#### II.2.1.1 Le compresseur

Le compresseur va tout d'abord aspirer le gaz frigorigène à basse pression et à basse température (1). L'énergie mécanique apportée par le compresseur va permettre d'élever la pression et la température du gaz frigorigène. Une augmentation d'enthalpie en résultera.

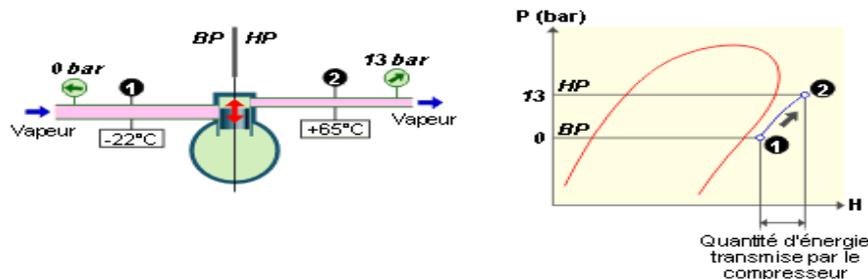
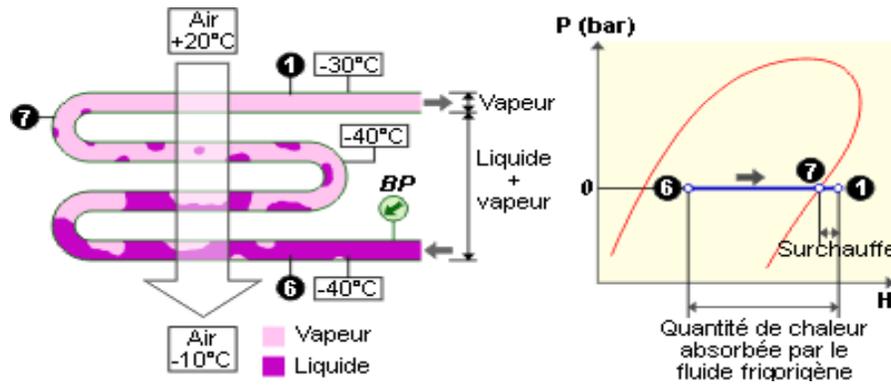


Figure (II.03) fonctionnement de compresseur [10]

### II.2.1.2 L'évaporateur

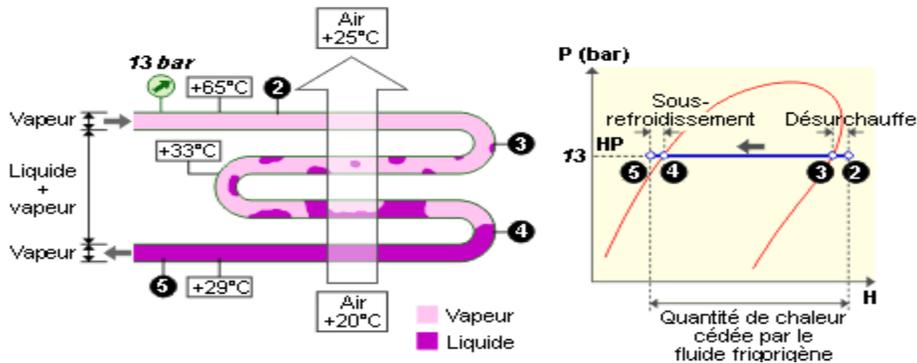
Le fluide frigorigène liquide entre en ébullition et s'évapore en absorbant la chaleur du fluide extérieur. Dans un deuxième temps, le gaz formé est encore légèrement réchauffé par le fluide extérieur, c'est ce qu'on appelle la phase de surchauffe (entre 7 et 1).



Figure(II.04): fonctionnement de L'évaporateur [10]

### II.2.1.3 Le condenseur

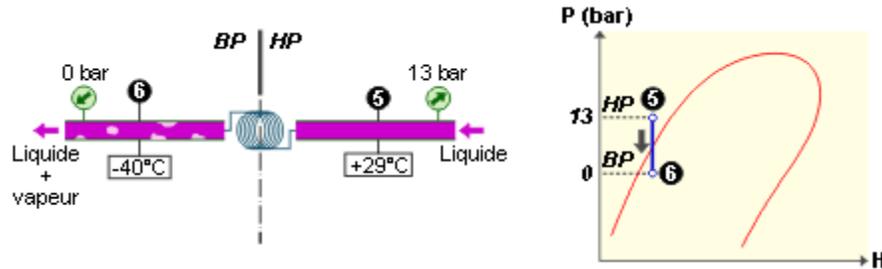
Le gaz chaud provenant du compresseur va céder sa chaleur au fluide extérieur. Les vapeurs de fluide frigorigène se refroidissent ("désurchauffe"), avant l'apparition de la première goutte de liquide (point 3). Puis la condensation s'effectue jusqu'à la disparition de la dernière bulle de vapeur (point 4). Le fluide liquide peut alors se refroidir de quelques degrés (sous-refroidissement) avant de quitter le condenseur.



Figure(II.05) fonctionnement de condenseurs [10]

### II.2.1.4 Le détendeur

La différence de pression entre le condenseur et l'évaporateur nécessite d'insérer un dispositif "abaisseur de pression" dans le circuit, c'est le rôle du détendeur. Le fluide frigorigène se vaporise partiellement dans le détendeur pour abaisser sa température.



Figure(II.06) fonctionnement de détendeur [10]

### II.2.2 L'efficacité énergétique ou COP froid [10]

Les COP froid pour des machines frigorifiques à compression mécanique dépendent de nombreux paramètres dont le type de compresseur employé et la technologie qu'il utilise. Le coefficient de performance de l'installation de réfrigération est défini par la relation suivante :

$$COP_{froid} = \frac{Puissance_{frigo}}{Puissance_{absorbée}} = \frac{Q_{évaporateur}}{W_{compresseur}} \quad (II.1)$$

Le Coefficient de Performance est défini dans des conditions nominales spécifiques selon le type de machine :

- 35°C de température d'air pour les machines à condensation par air, le régime d'eau à l'évaporateur est de 12°C -7°C,
- 30°C - 35°C de régime d'eau pour les machine à condensation par eau, le régime d'eau à l'évaporateur est de 12°C -7°C, les consommations des condenseurs à air ne sont pas prises en compte [13].

### II.3 Systems à absorption

#### II.3.1 Le principe de fonctionnement d'un système à absorption

Le cycle à absorption fonctionne de la même manière que le cycle à compression. Seul le compresseur mécanique est remplacé par un compresseur thermochimique [14].

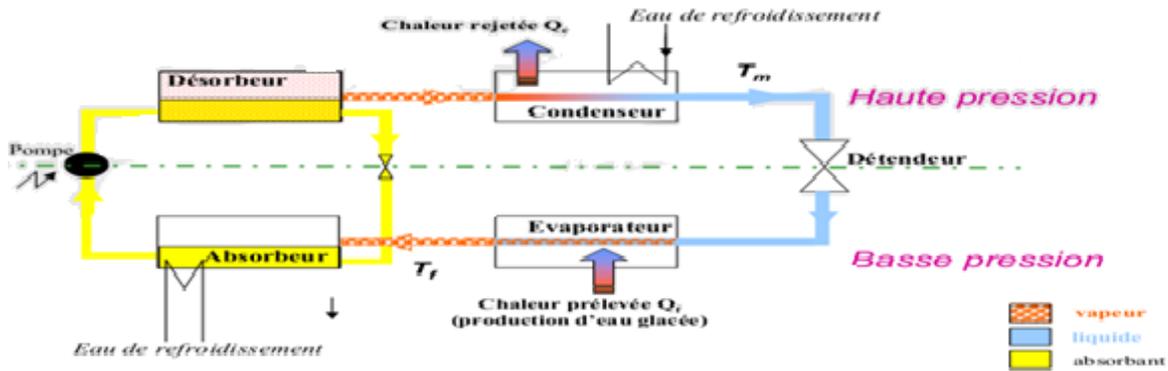


Figure (II.07) cycle de climatisation absorption [15]

Les refroidisseurs à absorption font partie de la famille thermodynamique des machines trithermes, c'est à dire qui utilisent trois niveaux de températures pour fonctionner. Le premier niveau de température correspond à la température froide, le second à la température ambiante et le dernier à la température de la source chaude. Les refroidisseurs à absorption utilisent directement la chaleur comme source première d'énergie pour produire du froid contrairement au refroidisseur de liquide à compression qui utilise une énergie mécanique.

En effet, les coefficients de performance des machines à absorption à simple effet (fonctionnant avec une température de source chaude de 130°C) sont compris entre 0.6 et 0.75. Les rejets de chaleur au condenseur sont de l'ordre de 2.5 fois la puissance frigorifique (ils sont de l'ordre de 1.3 fois la puissance frigorifique pour un refroidisseur à compression).

La principale contrainte des machines à absorption réside dans l'obligation de respecter une température de 30°C à l'entrée du condenseur.

## **II.4 Système adsorption**

### **II.4.1 Groupes de production de froid à adsorption**

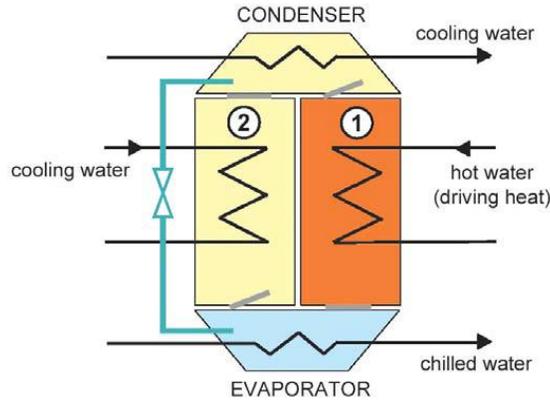
Le principe de base du fonctionnement d'une machine frigorifique à adsorption reste le même que celui d'une machine à « compression mécanique » ou que celui d'une machine à absorption, c'est à dire : circulation d'un fluide frigorigène, évaporation du fluide avec production de froid, compression du fluide demandant un apport d'énergie, condensation du fluide avec production de chaleur.

Cependant au niveau de la compression elle ne sera pas mécanique utilisant de l'électricité comme pour une machine à compression conventionnelle, mais elle sera thermochimique utilisant un apport calorifique ainsi qu'un sorbant comme pour les machines à absorption à la différence près, qu'ici le sorbant n'est pas un liquide mais un solide. Ceci nécessite quelques modifications au niveau du groupe de production de froid.

Lorsque la «production de froid» diminue (saturation de l'adsorbant en vapeur d'eau), les fonctions des deux compartiments sont permutées par ouverture et fermeture de clapets. Actuellement, seuls quelques fabricants asiatiques proposent ce type de machines à adsorption.

### **II.4.2 La machine à adsorption**

Lorsque le gaz ne se fixe pas dans un liquide, mais sur un matériau hautement poreux, on parle d'adsorption. Cette faculté de matériaux tels que les gels de silice, ou les Zéolites est utilisée dans des machines les couplant à la vapeur d'eau pour réaliser le cycle de refroidissement (présenté à la Figure II.8). L'utilisation de matériaux solides oblige alors à avoir un fonctionnement cyclique et non continu comme pour l'absorption. Deux masses de matériaux adsorbants sont alternativement chauffées par la source chaude pour désorber la vapeur d'eau qui va ensuite se condenser dans le condenseur. Puis l'eau est ensuite évaporée dans l'évaporateur où le froid est alors produit. Cette vapeur d'eau s'adsorbe ensuite sur le matériau adsorbant et le cycle recommence.



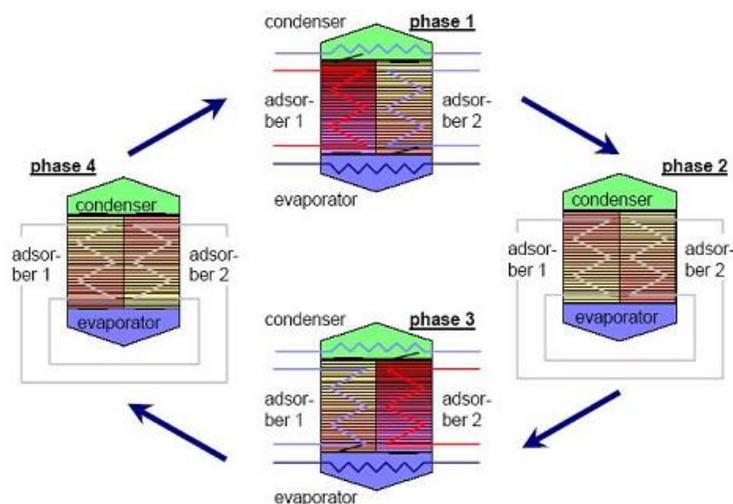
**Figure (II.08)** Schéma de fonctionnement d'une machine à adsorption [9]

Avec une température de source chaude d'environ 80°C, ces systèmes obtiennent des COP d'environ 0,6 mais peuvent fonctionner jusqu'à des températures d'environ 50°C. La capacité des machines va de 50 à 500 kW froid.

La robustesse de ces machines à adsorption est un atout. Il n'y a, d'autre part, aucun danger de cristallisation et donc, pas de contrainte sur la température intermédiaire de refroidissement.

Il n'y a pas de pompe à solution; les consommations électriques sont donc particulièrement réduites.

- Le cycle réel (d'un point de vue chronologique et fonctionnel) d'un groupe à adsorption est le suivant :



**Figure(II.09)** Le cycle réel d'un groupe à adsorption [10]

- Phase 1 : Durant cette phase, l'étape 2 et 4 vues précédemment se réalisent simultanément. C'est durant cette étape qu'il y a la production de froid. Elle dure environ 370 sec.
- Phase 2 : Durant cette phase, les 2 chambres d'adsorption sont connectées entre elles. Il s'opère ainsi un équilibrage des pressions et un préchauffage de la chambre d'adsorption gauche (saturée en eau). Cette phase dure environ 30 sec.
- Phase 3 : Cette phase est la même que la phase 1, si ce n'est que les chambres d'adsorption ont échangées leur rôle. Elle dure également 370 sec et il y a réduction de froid.
- Phase 4 : Cette phase est la même que la phase 2. Elle dure environ 30 sec.

Dans un groupe de production frigorifique à adsorption, la production de froid se réalise donc de manière quasi continue. En effet comme on l'a vu, on refroidit à l'évaporateur de l'eau pendant 370 sec avant de devoir échanger le rôle de chaque chambre d'adsorption, ceci dure 30 sec avant qu'un cycle de production de froid redémarre pour 370 sec. Un cycle dure donc entre 6 et 7 minutes.

#### II.4.3 L'efficacité énergétique ou $COP_{froid}$

Le coefficient de performance  $COP_{froid}$  d'une machine à adsorption généralement rencontrés entre  $0.4 < COP_{froid} < 0.6$  [10]. On note tout de suite que la valeur du COP froid d'une machine à adsorption est très inférieure à celui d'une machine à compression mécanique traditionnelle.

$$COP_{froid} = \frac{Puissance_{frigo}}{Puissance_{apportée}} \quad (II.2)$$

#### II.5 Systèmes refroidissement à dessicant

Les systèmes à dessiccation sont des systèmes ouverts utilisant l'eau, en contact direct avec l'air, comme réfrigérant. Le cycle de rafraîchissement est une combinaison de rafraîchissement évaporatif avec une déshumidification par un matériau hygroscopique, qui peut être aussi bien liquide que solide. Apportée

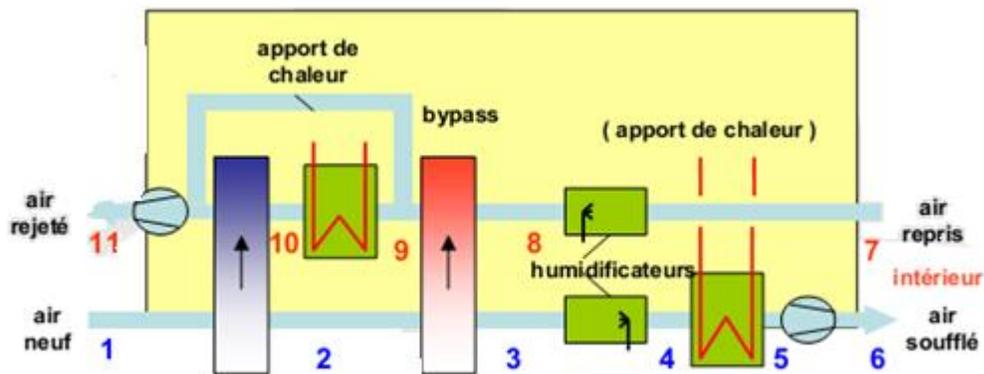
Le terme « ouvert » signifie que le réfrigérant est évacué du système après qu'il ait produit son effet refroidissant, et qu'une nouvelle quantité de réfrigérant doit être injectée, le

tout dans une boucle ouverte. Seule l'eau peut être utilisée comme réfrigérant puisqu'elle est en contact direct avec l'air ambiant.

### II.5.1 Le rafraîchissement évaporatif potentialisé par Dessiccation

Les installations de rafraîchissement évaporatif potentialisé par dessiccation produisent directement de l'air frais, contrairement aux groupes frigorifiques à compression mécanique, à absorption ou à adsorption qui eux refroidissent un fluide intermédiaire.

Globalement, dans le système "eau + air", rien ne se perd, rien ne se crée. L'énergie totale est conservée : l'énergie de l'air "sec et chaud" est égale à l'énergie de l'air "froid et humide". On dit que la transformation est "isenthalpique" ou encore "adiabatique".



Figure(II.10) principe de fonctionnement de cycle ouvert refroidissement à dessiccant. [15]

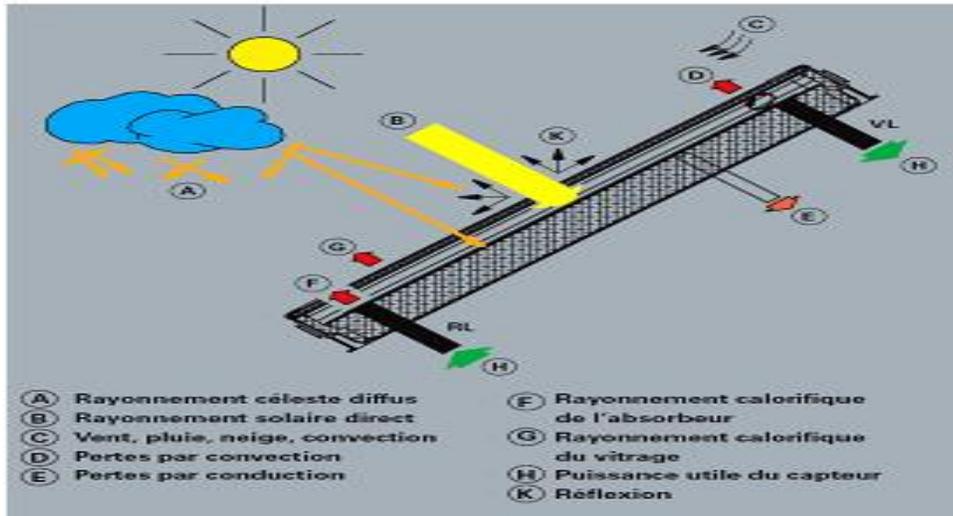
## II.6 Système solaire

L'énergie solaire thermique désigne la transformation d'un rayonnement lumineux en chaleur. C'est cette même énergie qui permet le développement de la vie sur Terre, grâce au réchauffement de l'atmosphère et à la photosynthèse. A l'origine utilisée pour allumer des feux sacrés, cette énergie pourrait être une des solutions aux enjeux énergétiques de notre siècle.

### II.6.1 La puissance rayonnée

Le rayonnement solaire est un flux d'énergie émis uniformément par le Soleil dans toutes les directions. Une puissance de  $1,36 \text{ kW/m}^2$  (constante solaire) est reçue par la Terre en dehors de l'atmosphère. Le rayonnement solaire est affaibli par la réflexion, les diffusions multiples et l'absorption par les particules de poussière et les molécules de gaz Figure (II.11).

La part du rayonnement qui traverse sans encombre l'atmosphère rencontre directement la surface terrestre : c'est le rayonnement direct. La part du rayonnement solaire réfléchi ou absorbé par des particules solides ou de gaz et rayonné à nouveau rencontre la surface terrestre dans toutes les directions : c'est le rayonnement diffus. La somme des rayonnements direct et diffus Figure (II.12) est appelée rayonnement global  $R_g$ .



Figure(II.11) utilisation de rayonnement solaire dans le capteur [17]

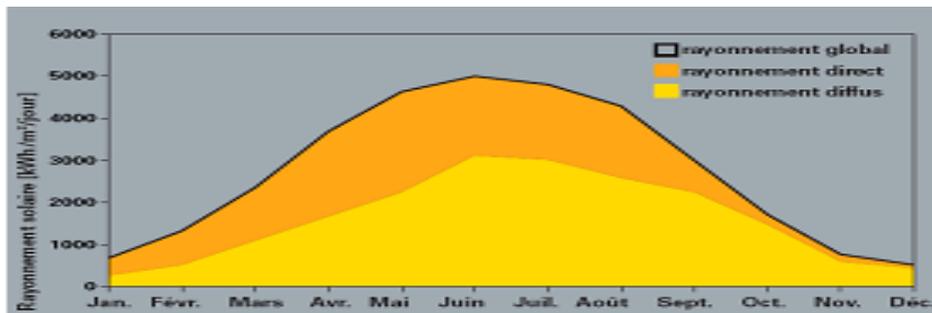


Figure (II.12) puissance rayonné quotidiennement le soleil sur une année [17]

### II.6.2 Les capteurs solaires

Pour caractériser les performances d'un capteur, on effectue des essais normalisés. L'équation du rendement d'un capteur est:[18]

$$\eta = B - K \cdot \frac{T_m - T_a}{W} - \dot{K} \cdot \frac{(T_m - T_a)^2}{W} \quad (II.3)$$

Avec :

- $T_m$ : la température moyenne du capteur (en première approche la moyenne entre la température d'entrée et la température de sortie du capteur en °C).
- $T_a$  : la température ambiante dans l'environnement du capteur (en °C).
- $W$  : la puissance de l'irradiation solaire mesurée dans le plan du capteur (en  $W.m^{-2}$ ).

Dans la pratique, le coefficient  $K'$  étant très faible, il est souvent négligé et un capteur solaire est caractérisé par les coefficients  $B$  et  $K$ .

Le capteur utilisé dans cette étude est de surface  $60 m^2$  et il possède les caractéristiques suivantes [20].

Coefficients	Valeurs
B	0.800
K	$2.103 Wm^{-2}K^{-1}$
$K'$	$3.000 Wm^{-2}K^{-2}$

**Tableau(II.1)** caractéristiques du capteur [19].

### II.6.2.1 les différents types de capteurs solaires [20]

#### II.6.2.1.1 Les capteurs solaires thermiques

Donc, il existe deux grandes familles de capteurs solaires thermiques, les capteurs plan qu'il est exploité directement les rayonnent solaire, et les capteurs a concentration qu'il utiliser un réflecteur pour concentré les rayonnements solaire.

##### a. Les capteurs plans

Les capteurs plans peuvent assurer des températures variant de  $30^{\circ}C$  à  $150^{\circ}C$  et ne nécessitent ni concentration du rayonnement incident, ni un suivi du soleil. Le niveau relativement bas de la température du capteur plan est dû à la réémission par rayonnement du récepteur, et les pertes de chaleur périphérie du capteur. [20]



**Figure (II.13)** capteurs plan intégré en toiture [21]

Il existe trois types de capteurs solaires plans qui peuvent être utilisés dans le cadre du rafraîchissement solaire : les capteurs à air, à eau et sous vide.

- **Capteurs sous vide**

Les capteurs sous vide sont parmi les plus efficaces et les plus coûteux. Ces capteurs conviennent mieux à des applications à température modérée où la température requise atteint 50 à 95°C et/ou à des applications où le climat est très froid.

Compte tenu des températures (80°C-95°C) requises pour la bonne marche d'une machine à absorption, il a été choisi d'employer des capteurs à tubes sous vide qui ont la propriété de conserver des rendements élevés, à ces niveaux de températures.



**Figure (II.14)** capteurs à tubes sous vide [21]

- **Capteurs plan à air** [21]

Ils sont utilisés pour le chauffage direct de l'air, généralement pour le préchauffage de l'air neuf. Ils sont utilisés lorsque la température désirée n'est pas très haute (<70°C), car le rendement baisse fortement avec la hausse de la température de

l'air caloporteur. L'avantage de ces capteurs est leur faible coût ainsi que la faible complexité d'installation. Des ailettes sont dessinées dans l'absorbeur pour augmenter le coefficient d'échange convectif entre le fluide caloporteur (l'air) et l'absorbeur.

- **Capteur plan à eau**

Le capteur plan à eau est constitué d'une plaque de verre sous laquelle est situé des tuyaux contenant l'eau et de l'antigel. Ce tuyau repose sur une plaque isolante (isolation thermique) peinte en noir afin d'avoir une absorption de l'énergie solaire maximale. En effet, la couleur noire est la couleur qui absorbe le plus l'énergie solaire. Le principe de ce capteur est bien connu par les agriculteurs : c'est le principe de l'effet de serre. Ils s'en servent pour cultiver des plantes sous serres dans les régions froides. Le capteur plan fonctionne donc comme une serre : le rayonnement solaire traverse le vitrage, il est absorbé par le revêtement noir qui s'échauffe, transmet sa chaleur au fluide et rayonne dans l'infrarouge. L'antigel est utilisé pour éviter le gel de l'eau pendant l'hiver. Ces capteurs permettent de chauffer un liquide caloporteur (généralement un mélange eau-glycol). Ils sont utilisés généralement pour la production d'eau chaude sanitaire. Un absorbeur sélectif, ainsi qu'une vitre en verre technique permettent de garder un bon rendement avec des températures de l'ordre de 80°C.

- **Capteurs moquette :**

Un autre type de capteur plus simple et plus économique est utilisé pour le chauffage des piscines. Appelé capteur moquette, il est simplement composé d'un réseau de tubes noirs accolés les uns aux autres.

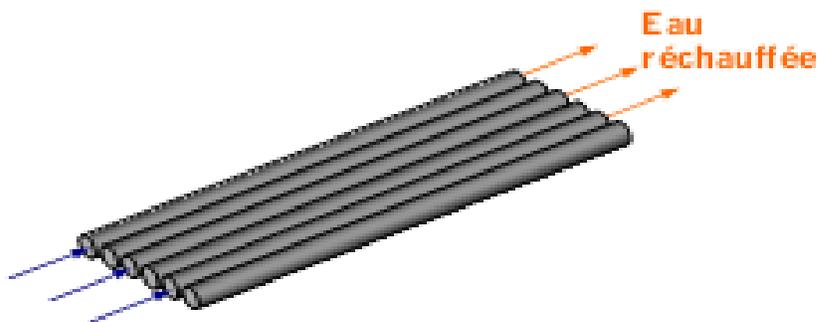


Figure (II.15) capteurs moquette [16]

Pour les moquettes solaires (chauffage de l'eau des piscines), étant donnée l'utilisation principalement estivale de l'énergie fournie par les capteurs, ceux-ci peuvent être posés à l'horizontale ou sur un plan peu incliné afin que les rayons du soleil soient le plus possible perpendiculaires au plan des capteurs.

Dimensionnement : surface de capteurs = 50 % de la surface de la piscine.

Coût indicatif : 100 à 150 €/m<sup>2</sup> de capteur [23].

### **b. Les capteurs solaires à concentration**

Pour atteindre des températures élevées (supérieures à 120°C), il est nécessaire de concentrer les rayons solaires par des jeux appropriés d'éléments réfléchissants (miroirs) ou de lentilles. La contrainte principale, outre le coût des dispositifs plus élevé que celui des capteurs plans, est le système de poursuite destiné à suivre le soleil dans sa course. Le flux solaire reçu par le capteur est d'abord réfléchi sur les miroirs du concentrateur, puis il traverse généralement un vitrage destiné à isoler thermiquement le foyer où il est absorbé par une surface appropriée. La réflexion, la transmission à travers le vitrage, et l'absorption se traduisent par des pertes optiques, caractérisées globalement par une efficacité. Dans les capteurs à concentration élevée, seule la composante directe du rayonnement solaire peut être dirigée vers le foyer, la composante diffuse ne pouvant être concentrée. L'absorbeur s'échauffe et perd de la chaleur vers l'extérieur sous forme essentiellement de rayonnement et de convection. Cette perte peut être caractérisée par un coefficient de pertes thermiques U. Un fluide caloporteur refroidit l'absorbeur en emportant la chaleur utile qui est ensuite convertie ou transférée pour différents usages.



**Figure (II.16)** Les types du capteur à concentration [22]

#### II.6.2.1.2 Les capteurs solaires photovoltaïques

Les capteurs solaires photovoltaïques sont quant à eux des convertisseurs de rayonnement solaire en électricité. Un module photovoltaïque produit directement de l'électricité à partir de l'ensoleillement. Composés d'une fine couche de silicium couverte par une plaque de verre trempé, ils produisent de l'électricité utilisable pour l'éclairage et les appareils électroménagers.



**Figure (II.17)** Capteur photovoltaïques [16]

Dans la plupart des cas, les capteurs sont raccordés au réseau électrique et on vend la totalité de la production au distributeur d'électricité (en 2007 : prix de vente 0,30 €/kWh, ou 0,55 €/kWh si les capteurs sont intégrés au bâti). Dans certains cas spécifiques (chalet isolé, mobilier urbain...), les capteurs sont couplés à un parc de batteries et fonctionnent en autonomie.



**Figure (II.18)** Capteur photovoltaïques [21]

### II.6.2.2 L'orientation des capteurs

L'orientation des capteurs doit être plein sud d'une manière idéale. Toutefois, il faut tenir compte des deux paramètres suivants dans le cadre du choix d'une orientation :

- les masques environnants, l'orientation du site.

Dans le cas où le site présente des masques importants à l'est (végétation, bâtiments, etc.), il est peut-être préférable d'orienter plus à l'ouest le champ solaire plutôt que de le placer plein sud. La production sera alors plus importante l'après-midi sans pour autant défavoriser le matin (qui n'est pas ensoleillé du fait des masques).

L'orientation du bâtiment est aussi à prendre en compte dans la mesure où les capteurs seraient placés sur la façade du bâtiment ou encore sur la toiture.

Il s'agit là d'intégrer au mieux les capteurs au bâti quitte à produire un peu moins d'énergie.

### II.6.2.3 L'inclinaison des capteurs

Les capteurs solaires vont délivrer le maximum de puissance dans le cas où le rayonnement solaire parvient à  $90^\circ$  dans le plan du champ solaire. Il est alors intéressant d'incliner les capteurs pour maximiser la période où l'on souhaite le plus de production.

Dans l'idéal, il faut orienter les capteurs solaires plein sud et les incliner à  $40^\circ$  pour la production d'eau chaude sanitaire et  $60^\circ$  pour la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage (cela favorisera la production en hiver puisque les rayons du soleil sont plus bas en hiver).

La figure ci-contre représente un capteur solaire thermique incliné à  $45^\circ$ . Alors que l'ensoleillement horizontal n'est que de  $656 \text{ W/m}^2$ , l'ensoleillement dans le plan du capteur atteint  $928 \text{ W/m}^2$  au mois de mars.

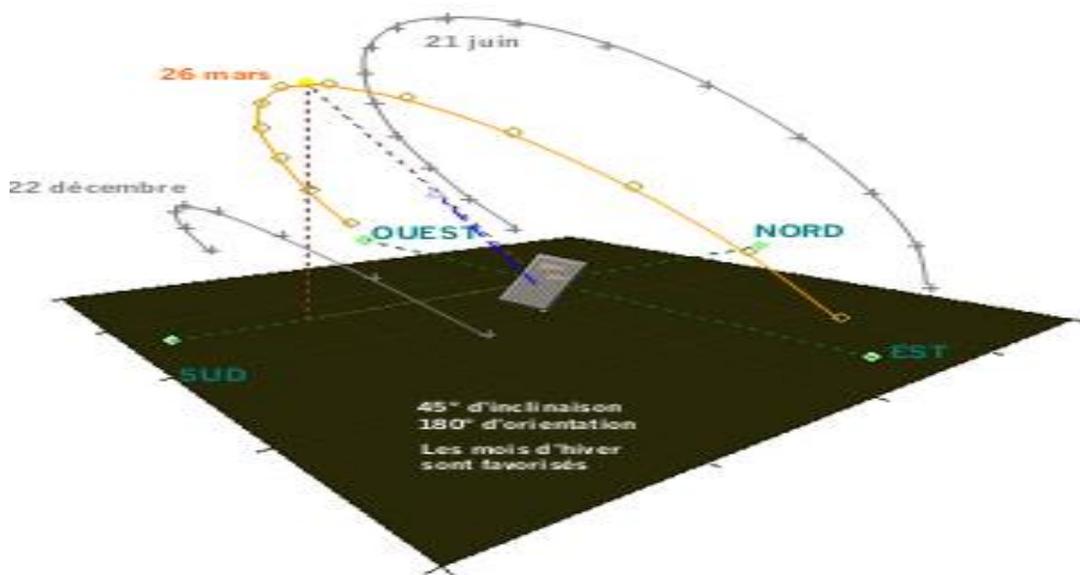


Figure (II.19) représentation 3D de l'orientation et de l'inclinaison d'un capteur solaire [16]

### II.6.2.4 Le positionnement des capteurs

Le positionnement des capteurs et leur intégration au bâtiment ou au site doivent être étudiés précisément de manière à garantir un rendement satisfaisant tout en respectant les règlements d'urbanisme.

- La pose des capteurs solaires thermiques peut se faire.
- sur une toiture terrasse.
- intégré dans une toiture en pente.
- intégré en façade (déconseillé pour la production d'eau chaude sanitaire, uniquement pour le chauffage),
- intégré sur un auvent ou une verrière,
- positionné sur un garde-corps,
- au sol sur des châssis métalliques,

### II.6.3 Le ballon de stockage d'eau chaude

- Un ballon de stockage d'eau chaude a 2 apports calorifiques :
- L'apport solaire provenant des capteurs
- L'apport provenant de l'appoint quand celui-ci est intégré
  - Il existe 2 possibilités pour connecter l'apport solaire au ballon :
- Il peut y avoir un échangeur interne au ballon, a ce moment là, l'eau chaude solaire transfert sa chaleur via cet échangeur directement à l'eau du ballon pour les petites surfaces de capteurs (<15 m<sup>2</sup>).
- Il peut y avoir un échangeur externe au ballon, le transfert de chaleur se fait alors à l'extérieur du ballon via cet échangeur.

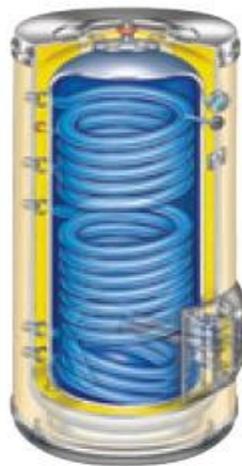


Figure (II.20) ballon de stockage [10]

Lorsque l'échangeur solaire est interne au ballon (comme sur le schéma) celui ci est placé en parti basse et l'échangeur de l'appoint est placé en partie haute pour ainsi apporté le complément de chaleur quand celui ci est nécessaire.

#### II.6.4 Système à compression [24]

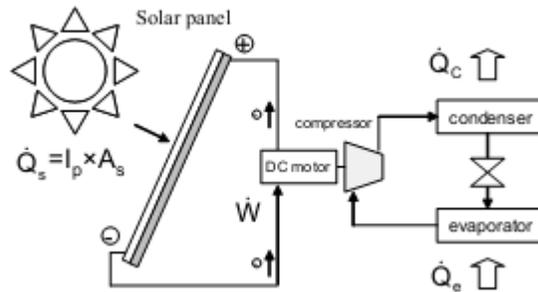
Dans l'équation. (II.4), l'efficacité d'un panneau solaire électrique est défini par le rapport de la puissance  $\dot{W}$  (kW) à la produit des cellules solaires ou de la surface du panneau  $A_s$  (m<sup>2</sup>) et l'irradiation directe de la propriété intellectuelle du faisceau solaire (kW/m<sup>2</sup>).

$I_p = 1 \text{ kW/m}^2$  est couramment utilisé pour le calcul du rendement nominal.

Le plus grand avantage de l'utilisation de panneaux solaires électriques pour le refroidissement serait la simple construction et de haute efficacité globale lorsqu'il est combiné avec de la vapeur conventionnelle compression de l'air conditionné.

$$\eta_{SP} = \frac{\dot{W}}{I_p \times A_s} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_s} \quad (II. 4)$$

Un schéma d'un tel système est donné dans la figure(II.21).



**Figure (II.21)** système à compression [24]

Dans la figure(II.21), la puissance  $\dot{W}$  est consommée par le compresseur mécanique pour produire le refroidissement puissance  $\dot{Q}$ .

L'efficacité de la machine de réfrigération est définie comme la puissance frigorifique  $\dot{Q}$  divisé par  $\dot{W}$  comme dans l'équation suivante.

$$\eta_p = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}} \quad (II.5)$$

La combinaison des deux économies dans équation(II.4) et équation (II.5) donne la solaire à refroidissement ou le l'efficacité globale d'un système de refroidissement électrique solaire comme dans l'équation. (II.6).

$$\eta_{sc} = \eta_{sp} \times \eta_p = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_s} \quad (II.6)$$

### II.6.5 Système ouvert :

L'énergie solaire réchauffe l'air sortant pour déshumidifier le gel absorbant.

Des températures de 50 - 60°C sont suffisantes d'où la possibilité d'utiliser des capteurs plans  
Possibilité d'utiliser des capteurs à air (utilisation directe de l'air produit) ou des capteurs à eau (échangeur eau/air), avec possibilité de stockage de l'eau chaude.

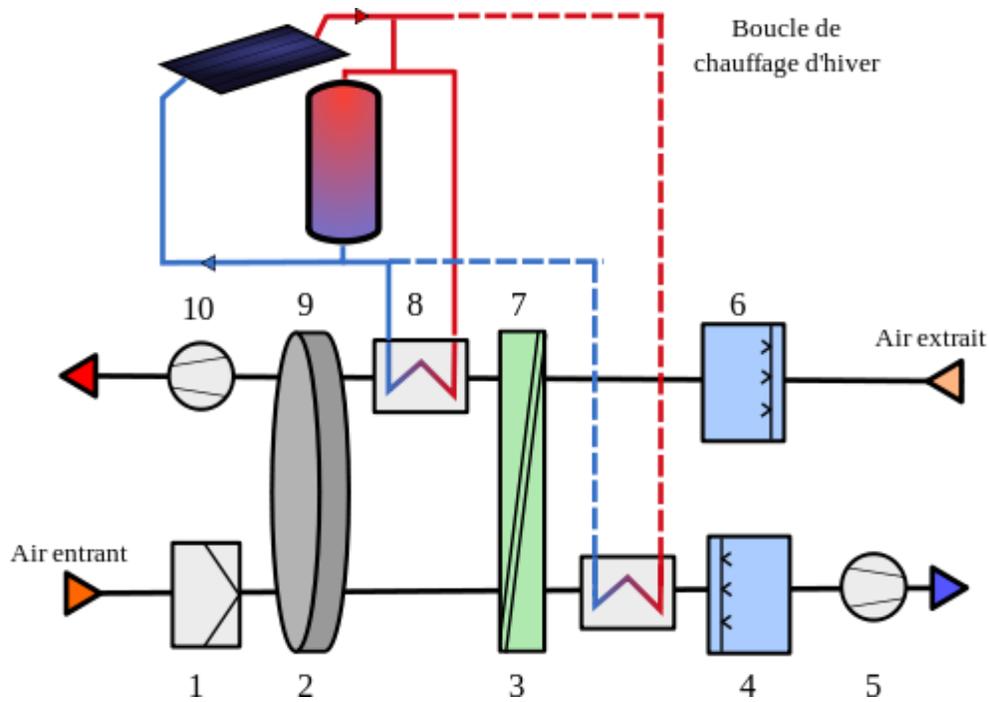


Figure (II.22) Schéma du système DEC [25]

#### Air entrant

1. Filtration de l'air.
2. Déshumidification : l'air passe dans une roue dessiccante qui lui retire une grande partie de son humidité et augmente par la même occasion sa température.
3. passage dans un échangeur de chaleur 3/7 : l'air entrant et sec revient à température de l'air extrait, lui-même refroidit au maximum (étape 6 de l'air sortant).
4. Réhumidification : au contact avec l'air sec, l'eau pulvérisée s'évapore en prenant à l'air la chaleur latente de vaporisation nécessaire, ce qui se traduit par une diminution de sa température et permet de rétablir un taux d'humidité acceptable.
5. Ventilateur.

#### Air sortant

6. Rafraîchissement par humidification : l'air extrait est saturé en humidité afin d'abaisser au maximum sa température, et donc d'abaisser au maximum la température de l'air entrant à l'étape suivante.

7. et 8. on chauffe l'air extrait afin de lui permettre d'absorber encore plus d'humidité ; d'abord par récupération de la chaleur de l'air entrant (dans l'échangeur 3/7, couplé à l'étape 3 pour l'air entrant), puis par chauffage dans le radiateur 8.
8. Régénération de la roue dessiccante : L'air extrait, chauffé de 45 à 90 °C permet de vaporiser les molécules d'eau retenues dans les pores de la roue à sorption. De cette manière la roue dessiccante peut de nouveau absorber l'humidité de l'air entrant.
9. Ventilateur : le système évacue de l'air plus chaud et plus humide que l'air intérieur, ainsi s'évacue la chaleur.

### **II.6.6 la climatisation à absorption**

Principe de l'utilisation de l'énergie solaire dans une machine frigorifique à Absorption

Comme nous venons de le voir, les machines frigorifiques à absorption nécessitent une source de chaleur permettant de régénérer l'absorbant dans le concentrateur ou désorbeur. Cette chaleur est fournie produite par une chaudière au fioul, au gaz, un réseau de chaleur ou une centrale de cogénération... Cependant, l'eau chaude solaire provenant de capteurs Sous-vide peut tout à fait fournir cette énergie calorifique au désorbeur. La température de l'eau fournissant la chaleur au désorbeur est généralement comprise entre 70°C et 100°C, c'est pourquoi l'utilisation de capteurs sous vide est indispensable pour cette technologie de production de froid.

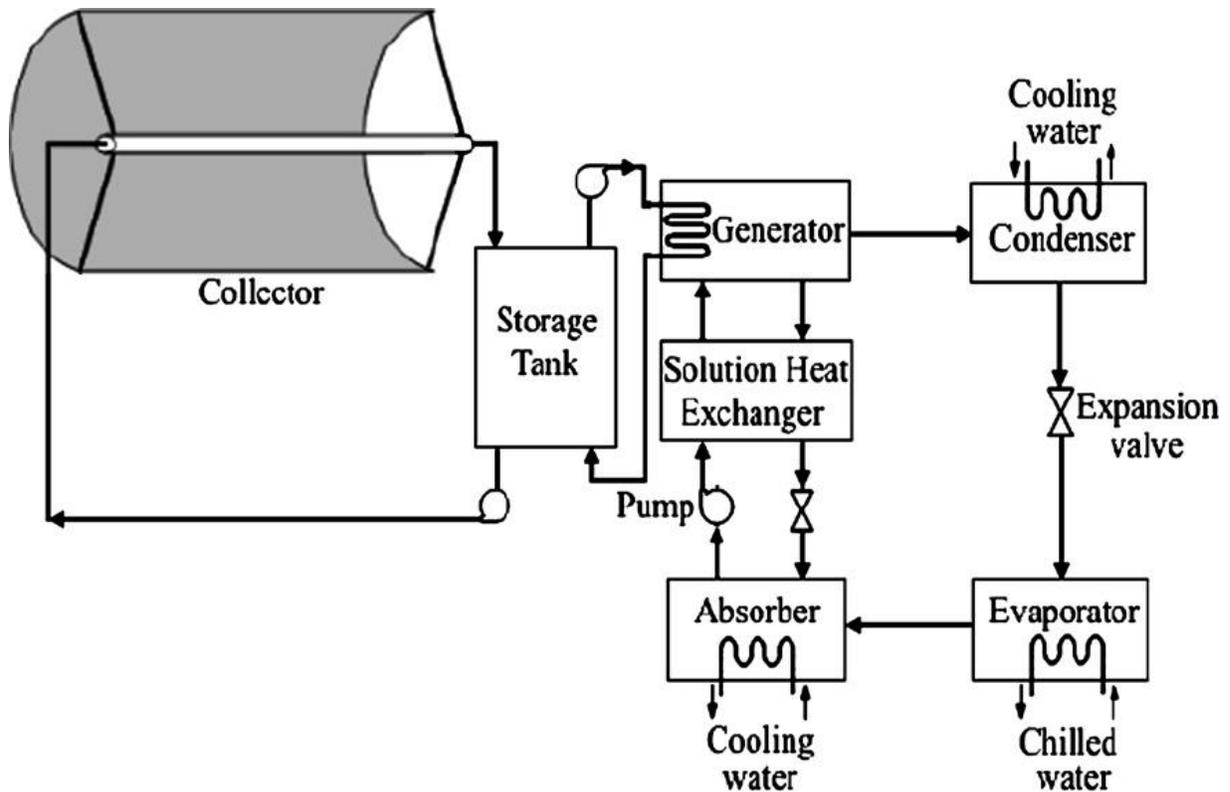
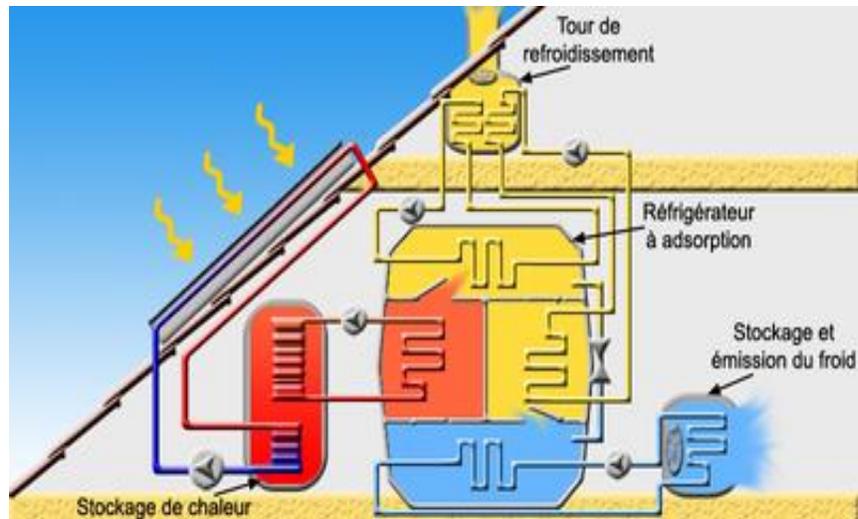


Figure (II.23) Schéma d'un système de refroidissement par absorption solaire [26]

### II.6.7 la climatisation à adsorption

Comme nous venons de le voir, les machines frigorifiques à adsorption nécessitent une source de chaleur permettant de régénérer l'adsorbant dans les chambres d'adsorption. Cette chaleur est généralement fournie par une chaudière au fioul ou au gaz, un réseau de chaleur, une centrale de cogénération et elle peut donc l'être également par des capteurs solaires thermiques. La température de l'eau fournissant la chaleur de régénération est généralement comprise entre 550C et 80°C.



**Figure (II.24)** Schéma d'une climatisation à adsorption [27]

### II.6.7.1 Cycle de fonctionnement

Le réfrigérateur solaire fonctionne selon un cycle thermique à adsorption. Le cycle peut être découpé en quatre phases distinctes comme expliqué ci-dessous. Nous donnons également dans ce tableau le cycle représenté dans le diagramme de Clausius-Clapeyron ( $\ln(P)$  (pression) en fonction de  $(-1/T)$  (température)).

Phase	Descriptif	Schéma	Diagramme
Chauffage isostérique <sup>6</sup> (8h-10h)	Le rayonnement solaire chauffe le capteur-adsorbent. La pression de vapeur et la température augmentent dans le système.		
Désorption (10h-16h)	Lorsque la pression de saturation correspondant à la température du condenseur est atteinte, les vapeurs se condensent et s'écoulent vers l'évaporateur.		
Refroidissement isostérique (16h-19h)	Lorsque l'ensoleillement diminue, le capteur se refroidit et la pression diminue dans le système pour atteindre la pression de l'évaporateur. Le refroidissement est favorisé par l'ouverture d'un volet d'aération en face arrière du capteur-adsorbent.		
Adsorption - production de froid (19h-8h)	En continuant son refroidissement, l'adsorbant se trouve physiquement en déséquilibre et va se "recharger" en adsorbant la vapeur contenue dans le système. Cette vapeur est produite par évaporation du liquide se trouvant dans l'évaporateur, en produisant l'effet frigorifique désiré. Lorsque la température dans l'évaporateur atteint le point de congélation, il y a formation d'un stock de glace qui permet à l'enceinte de rester à basse température pendant la journée suivante, éventuellement plusieurs jours (2-3) en cas de conditions météorologiques défavorables.		

Tableau(II.2) description des phases de système à adsorption [25]

## II.7 Comparaison technico-économique

### II.7.1 comparaison des COP [15]

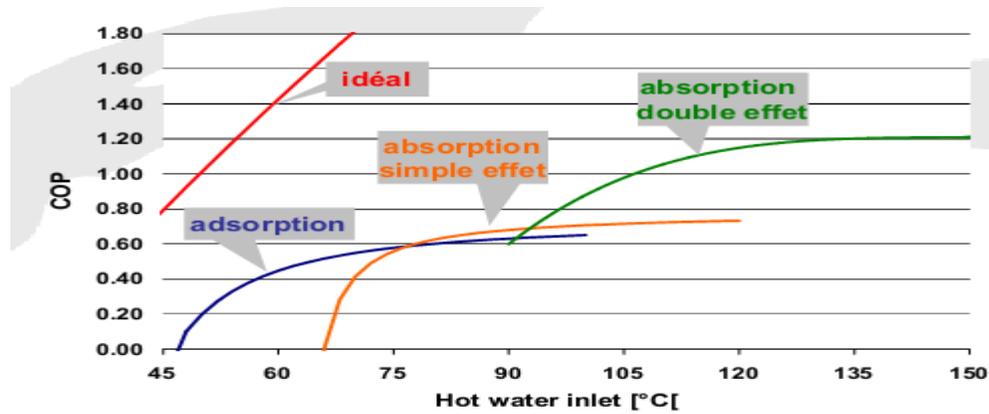


Figure (II.25) comparaison des COP [15]

Performances des systèmes thermiques

- Comparaison de la consommation énergie primaire consommée pour 1kWh froid produit :
  - Compression avec COP=3 : environ 1kWh énergie primaire
  - Système thermique COP= 0,65 : environ 1,5 kWh primaire
- Un système thermique de COP =1,1 est comparable en terme de consommation d'énergie primaire à la compression.
- Un système thermique de COP= 0,65 est moins performant

### II.7.2 Comparaison des techniques de climatisation solaire commerciales

Trois techniques sont aujourd'hui commercialement disponibles. Il est donc intéressant de les comparer, et de voir les avantages et les inconvénients propres à chaque technologie. Il ne s'agit pas de définir de manière définitive un positionnement des solutions, mais plutôt d'avoir des outils permettant de comparer les résultats de ces systèmes afin de voir les conditions les plus favorables à leur implantation respectives.

La comparaison s'effectue sur des considérations technologiques, ainsi qu'avec des indicateurs de performances énergétiques. Le Tableau (II.3) indique les avantages et les inconvénients au niveau technologique, de manière purement qualitative.





II.7.2.1 Les différents systèmes

Méthode	Cycle fermé		Cycle ouvert
Principe	Eau glacée		Déshumidification de l'air et refroidissement évaporatif
Phase de sorbant	Solide	Liquide	Solide
Couples utilisés	Eau-silica gel	Eau-bromure de lithium Ammoniaque-eau	Eau-silica gel Eau-chlorure de lithium
Technologie disponible sur le marché	Machine adsorption	Machine absorption	Système à dessiccation
Gamme de puissance froid (KW froid)	50-430KW	15-5MW	20KW-350KW par module
COP nominal	0.5-0.7	0.6-0.75 (simple effet)	0.5->1
Température de fonctionnement	60-90°C	80-110°C	45-95°C
capteurs solaires	Tubes sous vide. Capteurs plan.	Tubes sous vide. Capteurs plan.	Capteurs à l'air. Capteurs plan.

Tableau(II.04) comparaison entre les systèmes [15]

## II.8 Conclusion

Dans le chapitre, une présentation détaillée de la climatisation et les différentes technologies utilisées (absorption, adsorption, compression ou cycles ouverts refroidissement à dessicant.

Nous avons donné aussi une comparaison détaillée dans laquelle nous avons résumé toutes ces technologies avec leurs avantages et inconvénients.

La climatisation solaire ont une durée de vie plus longue que les systèmes de climatisation classique (25 ans contre 10 ou 15 ans un système classique)

La machine à absorption reste le meilleur modèle de production de froid qui, couplé au panneau solaire thermique donnera des résultats meilleures : Absence de vibrations, silence de fonctionnement, grande robustesse (pratiquement pas de pièces tournantes), faible coût de fonctionnement et aussi disponible, et ceci malgré son faible cop.

### **III.1 Introduction**

Dans ce chapitre, une simulation dynamique d'un système de rafraîchissement solaire à absorption d'un bâtiment a été réalisée.

TRNSYS est un logiciel de simulation dynamique il permet le calcul des performances techniques : des bâtiments mono ou multizones des équipements thermiques des systèmes thermiques.

### **III.2 Aperçu sur TRNSYS**

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 destiné au chauffage et à l'eau chaud. 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.

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.[28]

### **III.2.1 Avantages**

- Grâce à son approche modulaire, TRNSYS est extrêmement flexible pour modéliser un ensemble de systèmes thermiques à différents niveaux de complexité (modules avec procédures de calcul plus ou moins élaborées).
- L'accès au code source permet aux utilisateurs de modifier ou d'ajouter des composants qui ne figurent pas dans la librairie d'origine.
- Documentation vaste sur les sous-programmes y compris explications usages usuels équations de base.
- définition très souple de la période de simulation : choix du pas de temps, du début et de la fin de la simulation.

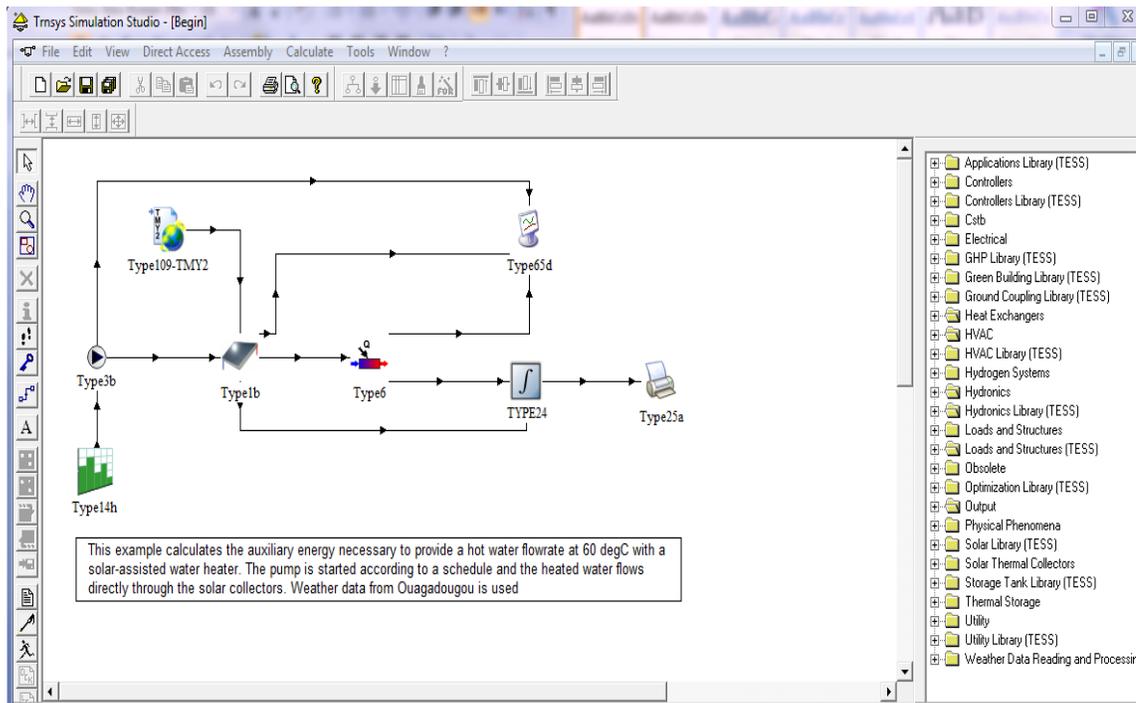
### **III.2.2 Inconvénients**

- Pas de valeur ou de système par défaut, l'utilisateur doit donc posséder et introduire l'ensemble exhaustif des données définissant le bâtiment et le système.
- La bibliothèque est limitée.

### III.2.3 TRNSYS Simulation Studio

« TRNSYS 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 noire (qu'il est cependant possible d'ouvrir). On introduit pour chaque sous programme les différents paramètres les variables d'entrée et de sortie.



Figure(III.01) Interface du logiciel TRNYS

### III.2.4 TRNBuild

« TRNBuid » 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 » vie le module « type56 » ainsi l'utilisateur décrit chaque zone thermique alternativement (les matériaux utilisés pour la construction des murs).

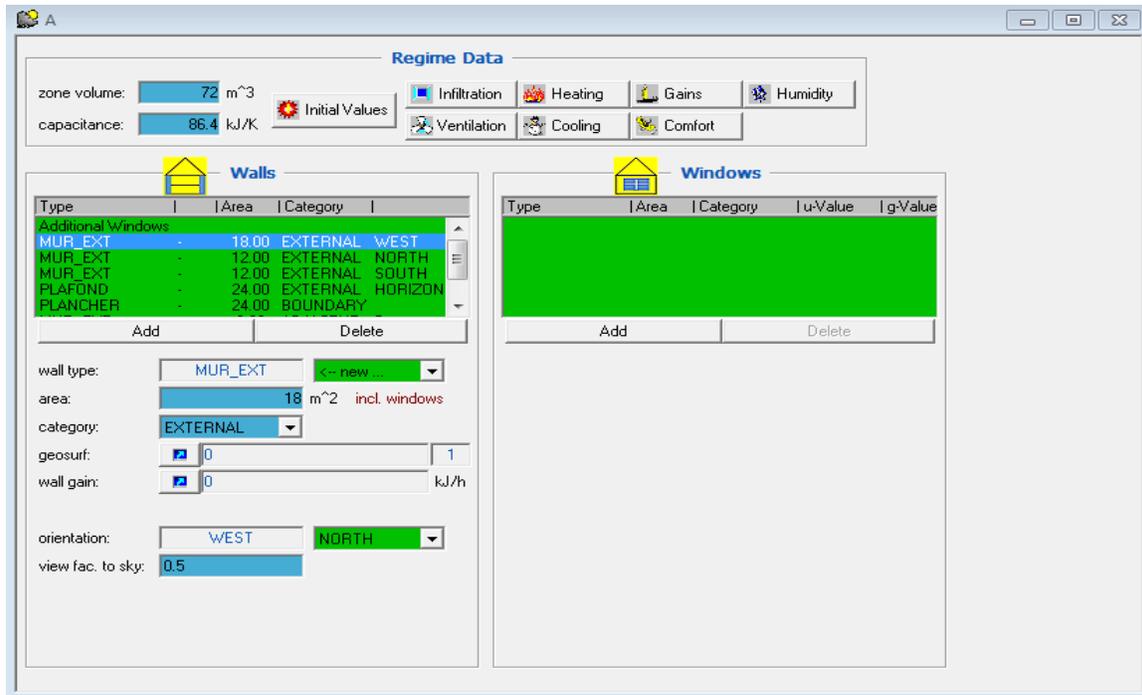


Figure (III.02) Interface du logiciel TRNBuild.

### III.3 Modélisation De La Maison

Dans le cadre de ce projet, le recours à ce type de logiciel est indispensable pour prendre en compte la variabilité temporelle importante des sollicitations et des sources d'énergie. Le début du travail consiste à modéliser la maison avec un sous-programme appelé TRNBuild permettant de définir la structure et les dimensions des bâtiments.

#### III.3.1 Création du modèle de référence

Le modèle de la maison est situé dans la région de la wilaya **Tlemcen** et à l'exterme ouest du pays elle est limitée géographiquement comme suit :

- Au nord par la mer méditerranée.
- A l'est par les wilayas de sidi bel abbes et ain tmouchent
- A l'ouest par le maroc

- Au sud par la wilaya de nàama.

Le climat de tlemcen de type méditerranéen est caractérisé par deux saisons : une saison humide qui s'étend d'octobre à mai avec des précipitations irrégulières et irrégulièrement réparties sur le territoire dans l'espace et le temps. La température moyenne pour cette saison oscille généralement autour de 10° avec une température minimal absolue pouvant aller jusqu'à mois 6°. Les hivers sont donc assez rigoureux avec vent neige et gel. La saison sèche va du mois de juin au mois de septembre. La température moyenne en cette saison oscille autour de 26° avec un maximum pouvant atteindre 40°. La température annuelle est de 18°.



**Figure(III.03)** photo represente la wilaya tlemcen.

### III.3.2 Le modèle de la maison a été créé à l'aide des plans suivant

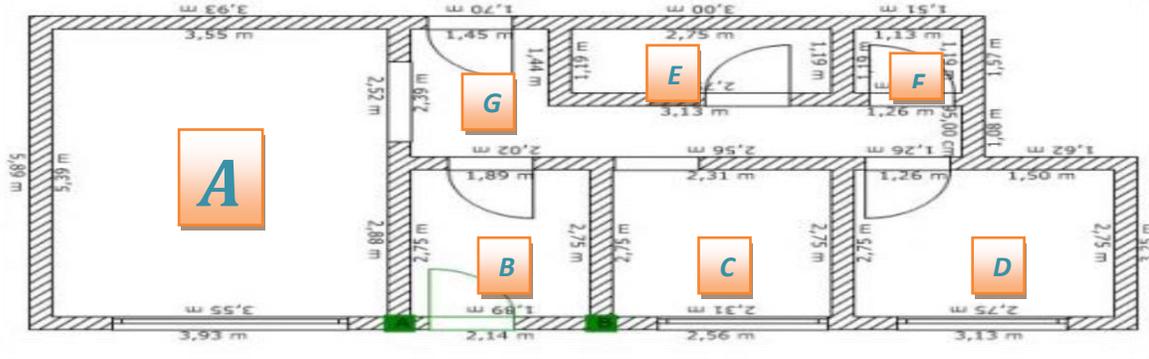


Figure (III.04) Plan qui présente les démontions de tout les zones de la maison

Il sept(7) zones (A, B, C, D, E, F, G) qui représente avec une déférence longueur, la largeur et position

- La zone A représenté avec trois façades extérieures et une face adjacente avec les zones G et B
- La zone B représenté avec trois façades adjacentes avec les zones A, C et G et une face extérieure
- La zone C représenté avec trois façades adjacentes avec les zones B, D et G et une face extérieure
- La zone D représenté avec deux façades adjacentes avec les zones C et G et une trois faces extérieure
- La zone E représenté avec trois façades adjacentes avec les zones F et G et une face extérieure
- La zone F représenté avec deux façades adjacentes avec les zones E et G et une deux faces extérieure
- La zone G représenté avec 7 façades adjacentes avec les zones A, B, C, D, E et F et une deux faces extérieure.



**Figure (III.05)** Photo qui présenté la facade de m sion



**Figure( III.06)** Plan 3D de la bâtisse considérée

### III.3.3 Définition des zones

La première étape est de séparer l'ensemble de la maison en différentes zones couplées les unes avec les autres.

Chaque zone est considérée comme une cellule séparée pour laquelle il faut définir le volume et les surfaces des parois. Pour chaque paroi il faut définir ses caractéristiques ainsi que la zone adjacente.

Nature de paroi	Matériaux	Conductivité Kj/h m <sup>2</sup> k	Capacité Kj/Kg k	Densité Kg/m <sup>3</sup>
Mur extérieur	Placo-BA13	1.16	0.80	790.00
	Parpaing-20	3.79	0.65	1300.00
	Pol-exp	0.14	1.38	25
	Enduit-ext	4.15	1.38	1700.00
Plafond	Bet-lou200	6.318	0.92	2300
	Feutre-Bit	1.80	1.00	1700.00
	Roof90	0.11	1.19	35.00

Tableau (III.01) représente les compositions de parois

Type	Nom de TYPE
TYBE109	Donnees climatiques.
TYBE1b	Panneau solaire sous vide
TYBE114,	Pompes.
TYBE6	Chauffage d'appoint
TYBE11f	Déviateur
TYBE25c	Imprimante
TYBE60n	Ballon De Stokage
TYBE107	Machine absorption
TYBE3a,	Ventilateur
TYBE91	Echangeur de chaleur a efficacité Constant
TYBE57	convecteur d'unité
TYBE33e	Données psychrométriques
TYBE69b	Estimation de la température du ciel
TYBE674,	Séparateur de l'air
TYBE56a	Description du local à climatiser faite a l'aide de TRNBUILD.
Equa-3	Calculateur

Tableau( III.02) Présentation des TYPE de l'installation

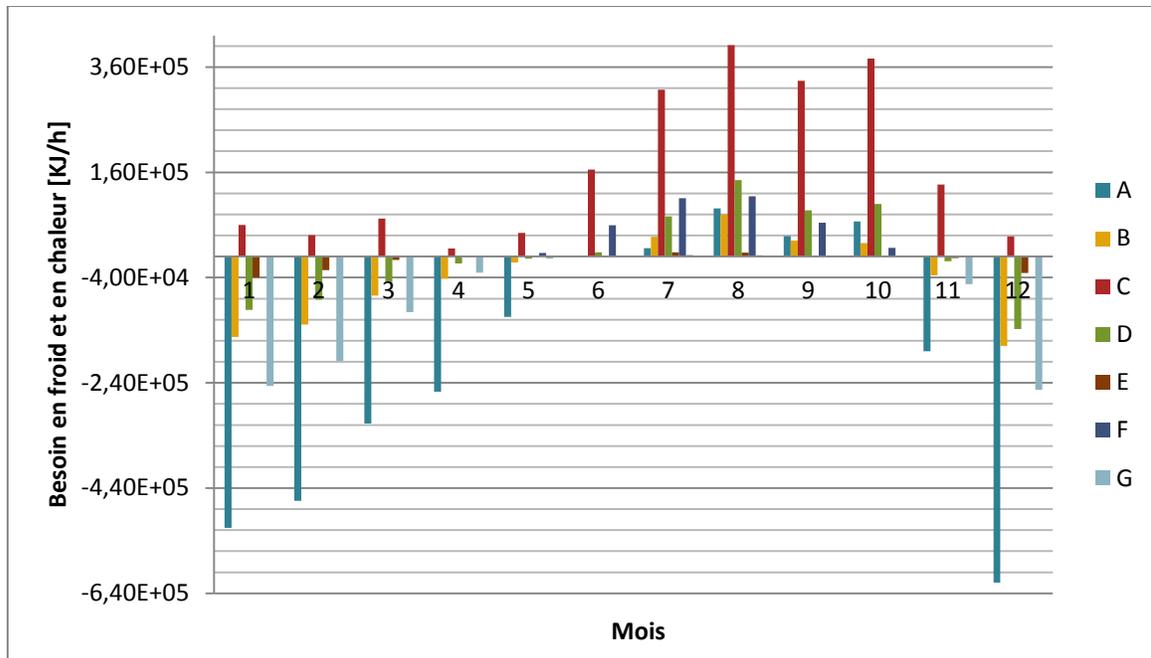


Figure (III.07) Besoins en chauffage et en rafraichissement des différentes zones

La figure (III.07) illustre les besoins en chauffage et les besoins en froid des zones du local. Les valeurs positives indiquent un besoin en froid et les valeurs négatives les besoins en chauffage.

La zone A, étant très spacieuse, consomme une grande quantité d'énergie pour le chauffage par rapport aux autres zones. La zone C consomme de l'énergie dédiée à la climatisation durant toute l'année du fait de son exposition au sud.

#### III.4 Simulation d'une installation de climatisation à absorption d'un bloc multizone

La Figure (III.08) illustre un système de climatisation conventionnelle sous environnement TRNSYS.

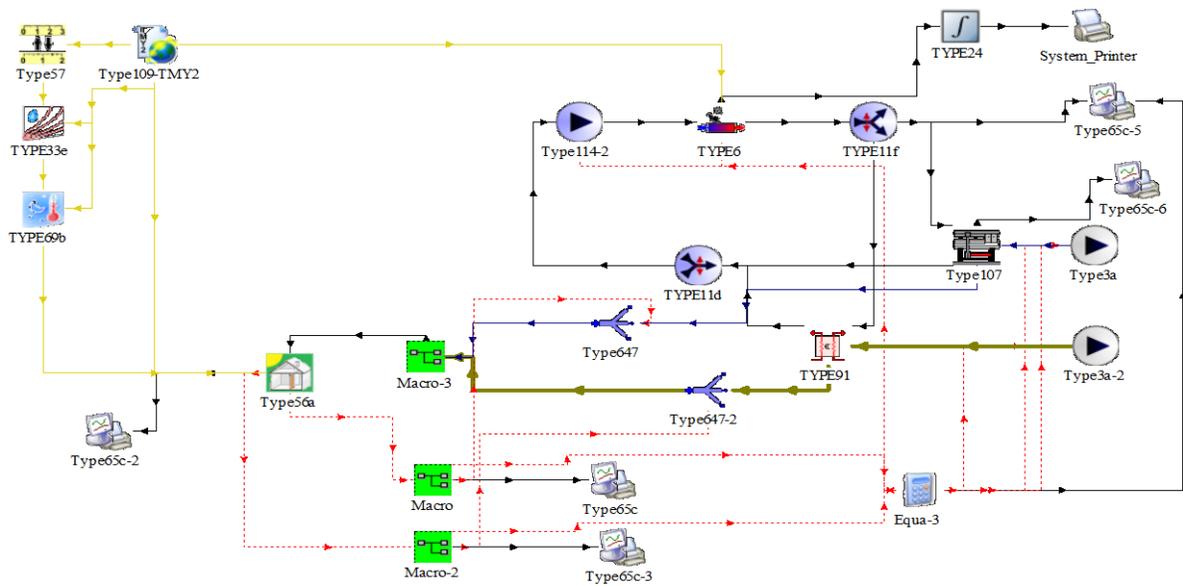


Figure (III.08) Système conventionnel absorption de climatisation sous environnement TRNSYS

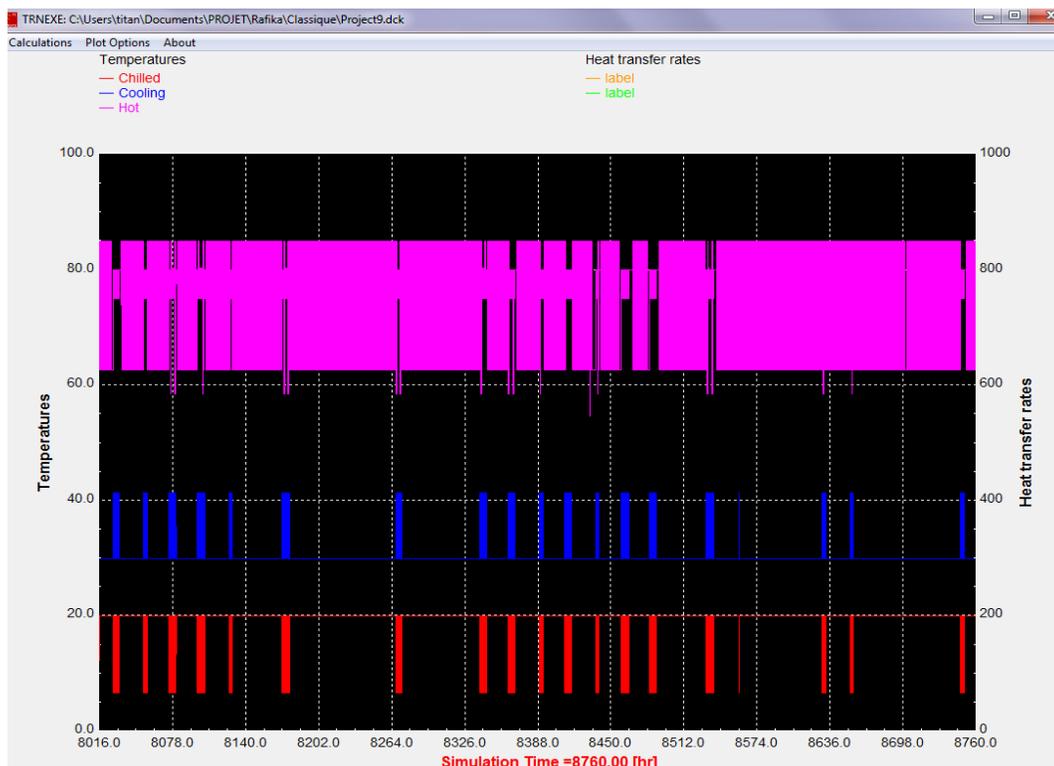
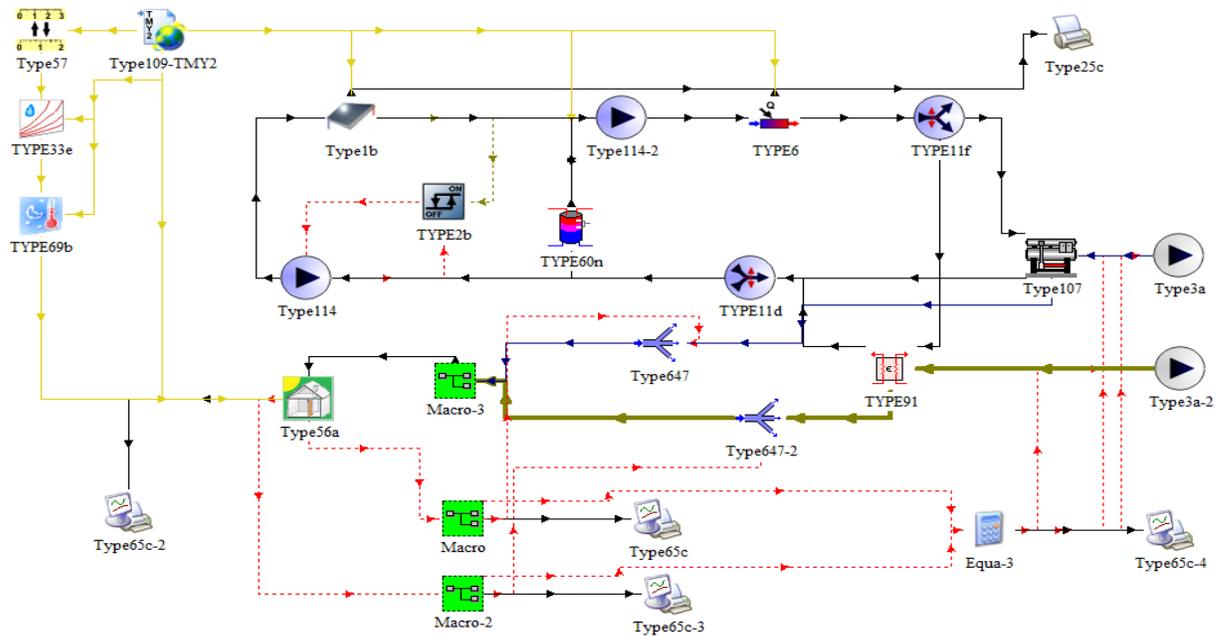


Figure (III.09) Variation annuelle des températures des sources chaude et froide et celle de l'air traité

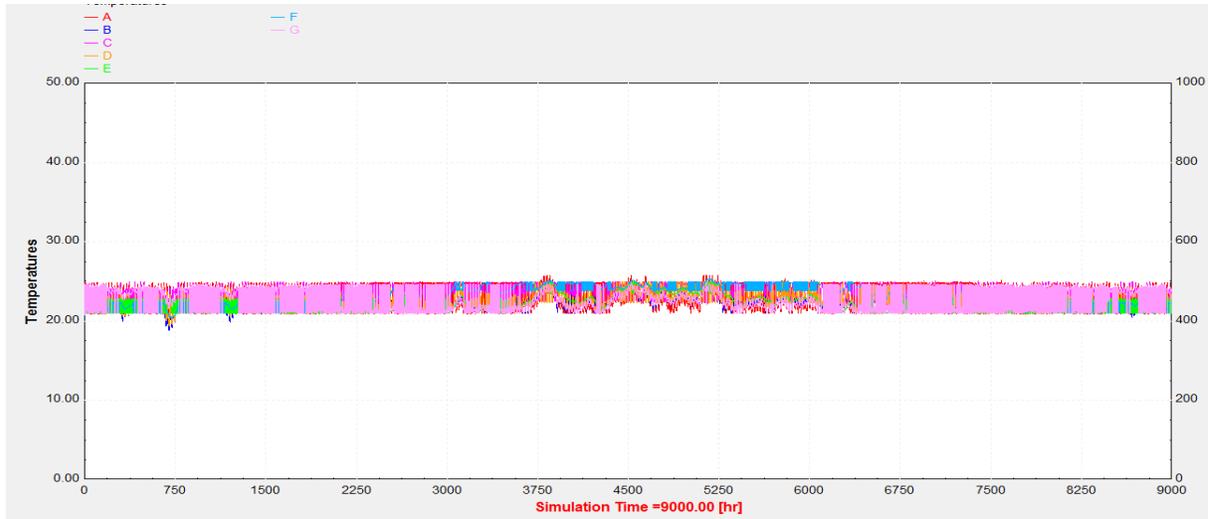
La Figure (III.09) illustre la variation des températures des sources chaude et froide ainsi que la température l'eau véhiculée aux différentes zones du local pour réaliser une température de confort et ce pour toute l'année. Dans le cas du chauffage, un système de régulation enclenche la sortie de l'eau chaude du générateur de la machine à absorption qui cède une quantité de chaleur à l'air qui est véhiculé aux différentes zones du local. De la même façon, dans le cas du rafraichissement, un système de régulation enclenche la sortie de l'eau froide provenant de l'évaporateur de la machine pour extraire une quantité de chaleur à l'air chaud des différentes zones du local.

### III.5 Simulation de l'installation de climatisation solaire à absorption

Il s'agit de la même installation de climatisation classique couplée à un système solaire composé d'un capteur solaire sous vide, d'un ballon de stockage et d'un régulateur TYPE 2b pour régler l'utilisation du capteur solaire.



**Figure (III.10)** Système de climatisation solaire sous environnement TRNSYS



**Figure (III.11) :** Variation annuelle des températures réglées des différentes zones

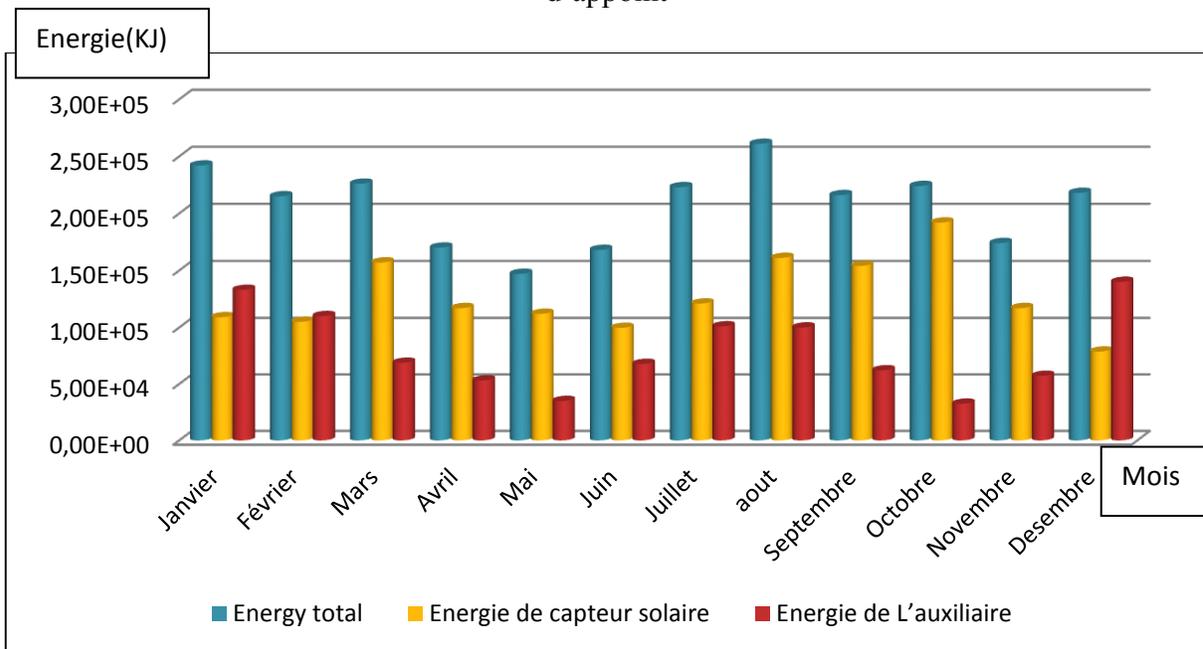
La Figure(III.11) illustre la variation annuelle des températures de confort réglées entre 20 et 26 °C et ce pour les différentes zones.

### **III.6 Comparaison des performances**

Le Tableau (III.03) illustre une comparaison entre l'énergie fournie par le capteur solaire et l'énergie fournie par le système d'appoint pour satisfaire une énergie totale nécessitée par le système de climatisation et ce pour une surface de captation solaire 60 m<sup>2</sup> et un volume de stockage 0,35 m<sup>3</sup>.

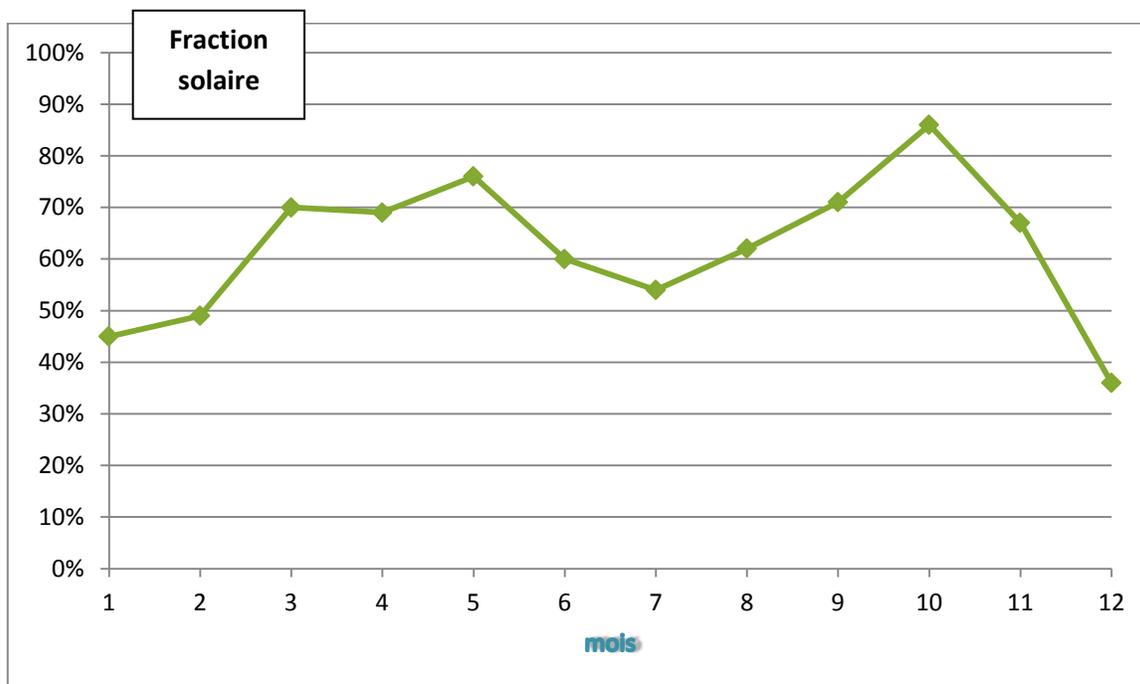
Mois	Énergie totale	Energie du capteur solaire	Energie auxiliaire
<b>Janvier</b>	2,42E+05	1,09E+05	1,33E+05
<b>Février</b>	2,15E+05	1,05E+05	1,10E+05
<b>Mars</b>	2,26E+05	1,57E+05	6,88E+04
<b>Avril</b>	1,70E+05	1,17E+05	5,32E+04
<b>Mai</b>	1,47E+05	1,12E+05	3,49E+04
<b>Juin</b>	1,68E+05	9,97E+04	6,78E+04
<b>Juillet</b>	2,23E+05	1,21E+05	1,01E+05
<b>août</b>	2,61E+05	1,61E+05	1,00E+05
<b>Septembre</b>	2,16E+05	1,54E+05	6,21E+04
<b>Octobre</b>	2,24E+05	1,92E+05	3,25E+04
<b>Novembre</b>	1,74E+05	1,17E+05	5,72E+04
<b>Décembre</b>	2,18E+05	7,87E+04	1,40E+05

**Tableau (III.03)** Variation annuelle des énergies fournies par le capteur solaire et le système d'appoint



**Figure (III.12)** Variation annuelle des énergies fournies par le capteur solaire et le système d'appoint

La Figure (III.12) montre la variation annuelle des énergies fournies par le capteur solaire et le système d'appoint ainsi que l'énergie totale dépensée au système de climatisation. On remarque la contribution de l'énergie solaire à la réalisation des températures de confort est appréciable à des degrés différents et ce pratiquement pendant toute l'année sauf pour les mois de décembre, janvier et février où le recours au système d'appoint l'emporte.



**Figure(III.13) :** Variation annuelle de la fraction solaire

Conformément à la Figure (III.12), la Figure(III.13) illustre la variation de la fraction solaire pendant toute l'année. En effet, la participation du système de capteurs solaires à la climatisation est importante pendant les mois de printemps et d'automne alors que les mois d'été et d'hiver, le recours au système d'appoint s'avère inéluctable.

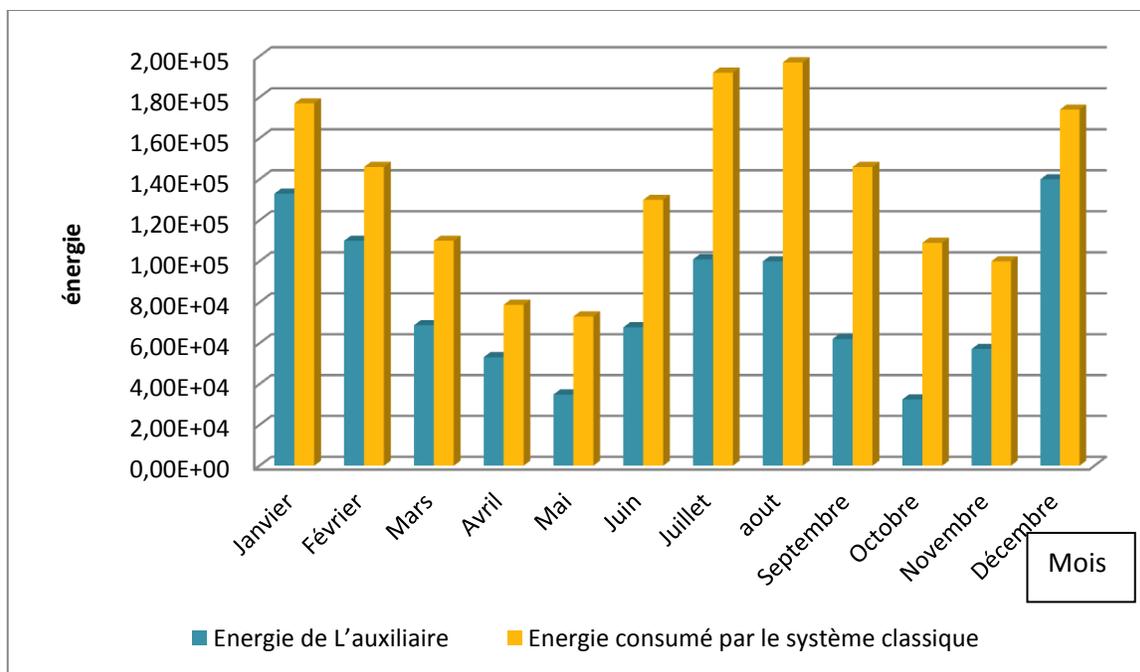


Figure (III.14) Variation annuelle de la fraction solaire

La Figure (III.14) illustre une comparaison intéressante entre le système d'appoint de l'installation solaire et l'énergie consommée par le système conventionnel. La différence entre ces deux énergies donne la contribution du système de captation solaire à la réalisation du confort thermique. Cette quantité est assez appréciable en valeur absolue pour les mois de fort ensoleillement, c'est-à-dire pour les mois de la saison chaude qui s'étale de juin à octobre.

Surface	Énergie totale	Energie solaire	Energie auxiliaire	fraction solaire
10	1,20E+05	1,65E+04	1,04E+05	14%
20	1,16E+05	3,37E+04	8,19E+04	29%
30	1,25E+05	5,03E+04	7,45E+04	40%
40	1,38E+05	6,69E+04	7,09E+04	49%
50	1,52E+05	8,33E+04	6,91E+04	55%
60	1,68E+05	9,97E+04	6,78E+04	60%
70	1,83E+05	1,16E+05	6,69E+04	63%
80	1,98E+05	1,32E+05	6,59E+04	67%

Tableau (III.04) Influence de la surface de captation sur les performances de l'installation (mois de juin,  $V = 0,35 \text{ m}^3$ )

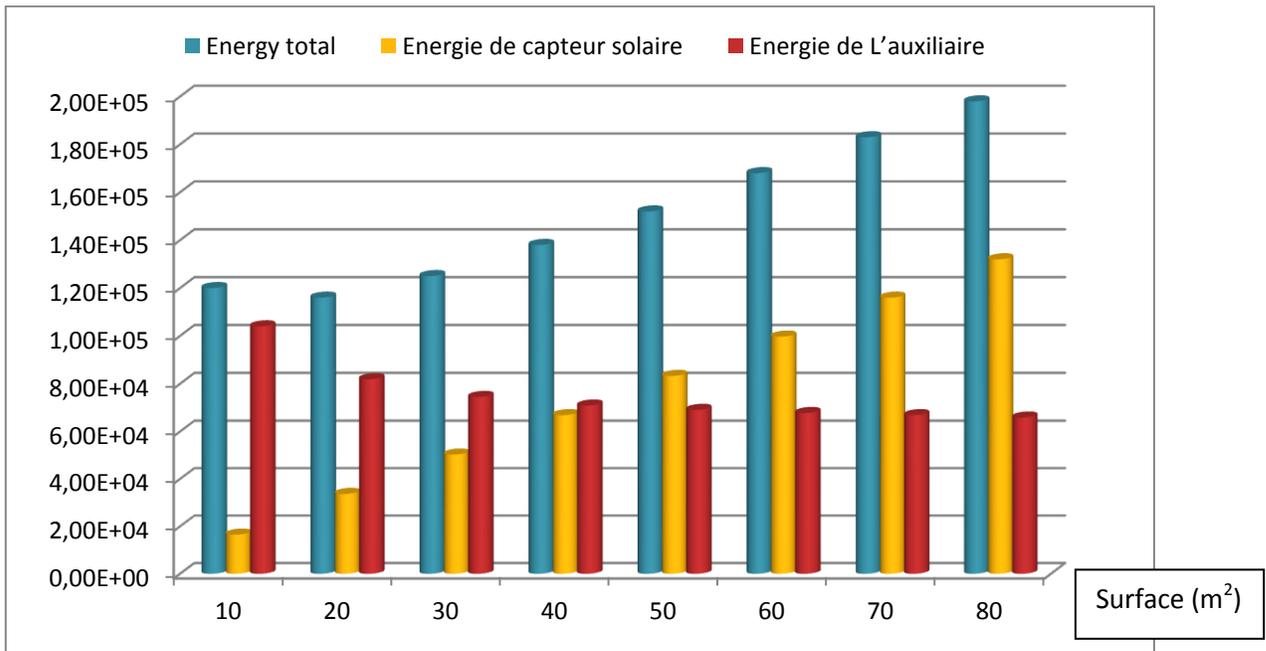
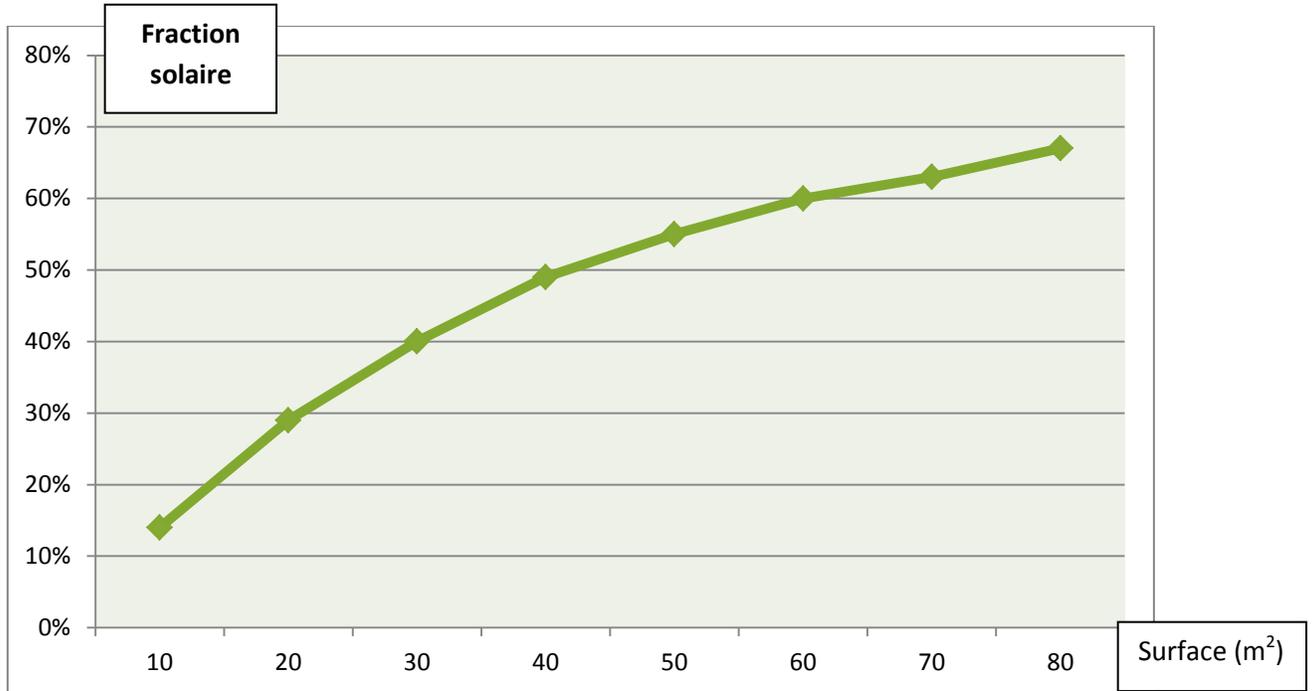


Figure (III.15) : Influence de la surface de captation sur les performances de l'installation (mois de juin,  $V = 0,35 \text{ m}^3$ )

La Figure (III-15) illustre l'influence la surface de captation sur les performances de l'installation pour le mois de juin et un volume de stockage de  $0,35 \text{ m}^3$ . On constate que la contribution de l'énergie solaire à la réalisation du confort ne devient perceptible qu'à partir d'une surface de  $50 \text{ m}^2$  et sa contribution ne cesse de croitre pour les surfaces considérées. Cette augmentation de la surface de captation influe sur le prix de

la mise œuvre du système de climatisation solaire. La surface optimale installée nécessite la prise en considération du fonctionnement du système pendant toute l'année.



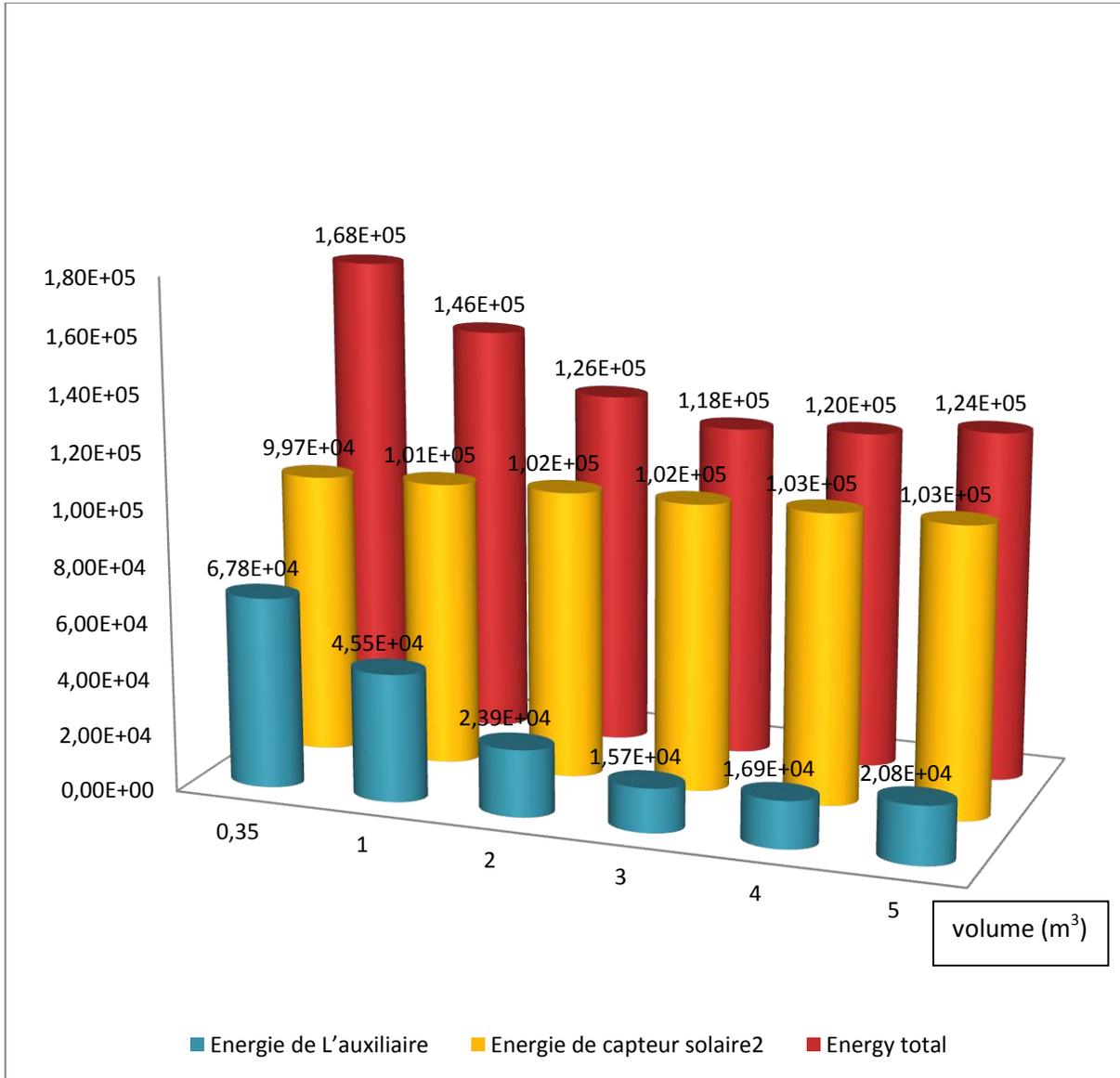
**Figure (III.16)** Influence de la surface de captation sur la fraction solaire

La Figure (III.16) illustre l'augmentation de la fraction solaire en fonction de la surface des capteurs solaires.

Volume	Énergie total	Energiesolaire	Energie auxiliaire	fraction solaire
0,35	1,68E+05	9,97E+04	6,78E+04	60%
1	1,46E+05	1,01E+05	4,55E+04	69%
2	1,26E+05	1,02E+05	2,39E+04	81%
3	1,18E+05	1,02E+05	1,57E+04	87%
4	1,20E+05	1,03E+05	1,69E+04	86%
5	1,24E+05	1,03E+05	2,08E+04	83%

**Tableau (III.05)** Influence du volume de stockage sur les performances de l'installation (mois de juin, S=60 m<sup>2</sup>)

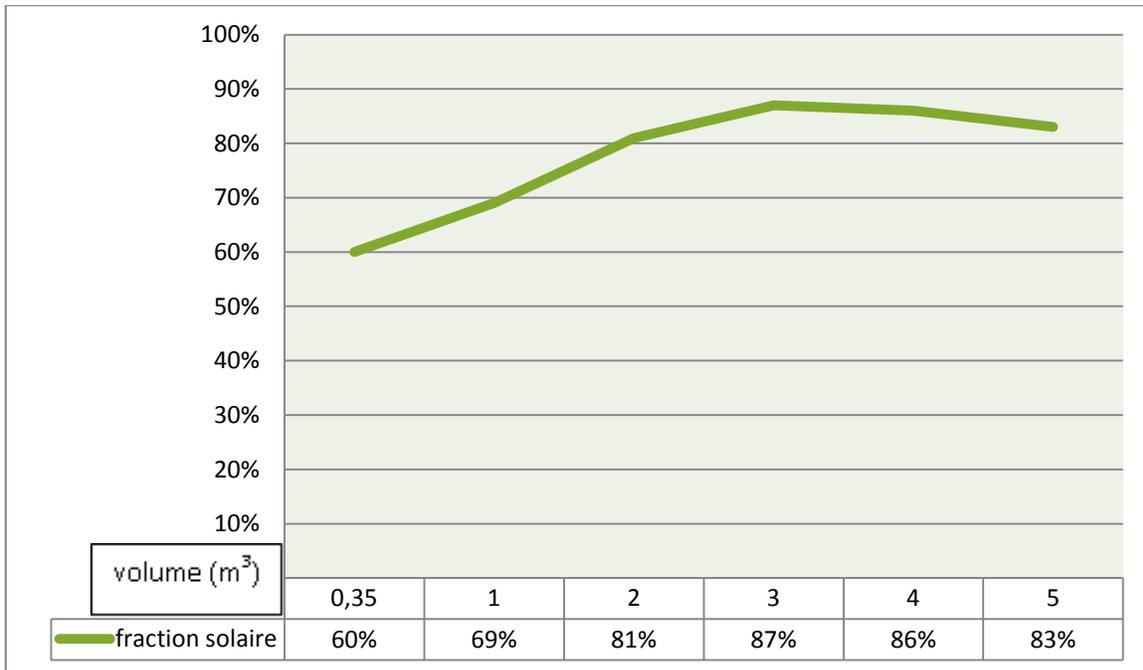
Le **Tableau (III.05)** illustre l'influence du volume de stockage sur les performances de l'installation (mois de juin,  $S=60 \text{ m}^2$ ). Cette influence est représentée sur la Figure( III.18)



**Figure (III.17)** Influence du volume de stockage sur la fraction solaire (mois de juin,  $S=60 \text{ m}^2$ )

La Figure (III.17) illustre l'influence du volume de stockage sur les différentes quantités d'énergie mises en œuvre dans l'installation. A l'encontre de l'influence de la surface de captation qui influe de façon proportionnelle sur les performances, le

volume de stockage nécessite une optimisation et ce selon la capacité voulue. Pour notre cas, un volume optimal de 3 m<sup>3</sup> a été trouvé. Une fois cette valeur dépassée, l'énergie d'appoint augmente et ce suite aux déperditions qui augmentent en conséquence.



**Figure (III.18) :** Influence du volume de stockage sur la fraction solaire (mois de juin, S=60 m<sup>2</sup>)

La Figure (III.18) montre l'influence du volume de stockage sur la fraction solaire. Le constat concernant l'énergie auxiliaire dépensée reste valable puisque la fraction solaire n'est autre que le rapport de l'énergie fournie par le champ de capteurs sur l'énergie totale nécessaire pour faire fonctionner le système.

### III.7 Conclusion :

Une étude comparative de deux installations de climatisation a été présentée. Le système conventionnel est composé d'une machine frigorifique à absorption et d'un

chauffage auxiliaire et l'installation de climatisation solaire est la même installation classique couplée à un champ de capteurs solaire sous vide et un ballon de stockage.

L'objectif des deux installations est de réaliser une température de confort comprise entre 20 et 26°C.

Les résultats obtenus peuvent se résumer en :

La zone A, étant très spacieuse, consomme une grande quantité d'énergie pour le chauffage par rapport aux autres zones. La zone C consomme de l'énergie dédiée à la climatisation durant toute l'année du fait de son exposition au sud.

La contribution de l'énergie solaire à la réalisation des températures de confort est appréciable à des degrés différents et ce pratiquement pendant toute l'année sauf pour les mois de décembre, janvier et février où le recours au système d'appoint l'emporte.

Pour un volume de stockage constant (0,35 m<sup>3</sup>), la contribution de l'énergie solaire à la réalisation du confort ne devient perceptible qu'à partir d'une certaine valeur de la surface de captation (50 m<sup>2</sup>) et sa contribution ne cesse de croître avec la surface de captation. Cette augmentation de la surface de captation influe sur le prix de la mise œuvre du système de climatisation solaire. La surface optimale installée nécessite la prise en considération du fonctionnement du système pendant toute l'année.

Pour une surface de captation constante (60 m<sup>2</sup>), un volume optimal de 3 m<sup>3</sup> a été trouvé. Une fois cette valeur dépassée, l'énergie d'appoint augmente et ce suite aux déperditions qui augmentent en conséquence.

## *Conclusion générale*

Le but de ce travail était de présenter la mise en place de la simulation d'une installation de rafraîchissement solaire et climatisation classique. Les deux installations de rafraîchissement ont été simulées avec les composants existants dans la bibliothèque du code de calcul TRNSYS.

Dans ce travail on a trouvé les inconvénients de système classique sur l'environnement et les énergies fossiles ne sont pas durables et qu'elles vont disparaître il faut alors chercher une d'autres sources d'énergie. A partir des recherches on a trouvé que l'énergie solaire est une bonne solution qui peut remplacer les énergies fossiles.

L'appauvrissement de la couche d'ozone, l'augmentation des émissions des gaz à Effet de serre, etc. ont conduit les pays industrialisés à s'engager et à adopter des mesures limitant la dégradation de notre environnement. Ces effets ont fait passer les recherches d'autres alternatifs du statut du nécessaire à l'indispensable et parmi ces recherches l'étude de la climatisation classique et la climatisation solaire.

C'est dans ce cadre que l'étude a été menée pour le cas de maisons, ainsi que des simulations dynamiques.

Dans ce travail, un ensemble de tâches a été exécuté et des conclusions tirées. La simulation a été faite pour deux types d'installations classique et solaire. Nous avons donné aussi une comparaison détaillée dans laquelle nous avons résumé toutes ces technologies avec leurs avantages et inconvénients. Cependant, l'effort technique pour l'implantation d'une installation de rafraîchissement solaire est plus élevé que pour un système conventionnel. Ceci provient à la fois de la mise en œuvre de la partie production d'énergie solaire (non incluse dans les éléments des installations classiques) et des besoins plus élevés en refroidissement du système liés à l'utilisation de groupes de froid à absorption (COP plus faible qu'un système classique).

La machine à absorption reste le meilleur modèle de production de froid qui couplé au Panneau solaire thermique donne des résultats meilleures : Absence de vibrations,

silence de fonctionnement grande robustesse (pratiquement pas de pièces tournantes)  
faible coût de fonctionnement et aussi disponible et ceci malgré son faible COP.

### **Perspectives**

Il sera intéressant par la suite de ce travail de mettre en place d'un prototype de climatisation solaire en site réel pour tester la climatisation et confirmer les résultats obtenus. Ce dispositif permettra aussi d'avoir des informations sur l'action du milieu extérieur sur le système.

Enfin, nous souhaitons que ce travail soit un outil de travail pour nos étudiants.

# ***LISTE DE FIGURE***

<b>Figure(I.01)</b>	Couche d'ozone	06
<b>Figure(I.02)</b>	les gaz l'effet serre	07
<b>Figure(I.03)</b>	Réaction du chlore avec l'ozone	07
<b>Figure(I.04)</b>	Historique et prévisions de la consommation énergétique par région	08
<b>Figure(I.05)</b>	Marché mondial de la climatisation en 2000	09
<b>Figure(I.06)</b>	Dépense annuelle consacrée à la climatisation dans le monde	10
<b>Figure(I.07)</b>	Augmentation de la surface climatisée par des installations centralisées entre 1980 et 2000 en l'Europe	12
<b>Figure(I.08)</b>	Ensoleillement global et froid annuel à fribourg	15
<b>Figure(I.09)</b>	Utilisation solaires	16
<b>Figure(II.01)</b>	fonctionnement d'une pompe à chaleur	20
<b>Figure(II.02)</b>	Le diagramme Enthalpique du cycle frigorifique	21
<b>Figure(II.03)</b>	fonctionnement de compresseur	21
<b>Figure(II.04)</b>	fonctionnement de L'évaporateur	22
<b>Figure(II.05)</b>	fonctionnement de condenseurs	22
<b>Figure(II.06)</b>	fonctionnement de détendeur	23
<b>Figure(II.07)</b>	cycle de climatisation absorption	24
<b>Figure(II.08)</b>	Schéma de fonctionnement d'une machine à adsorption	26
<b>Figure(II.09)</b>	Le cycle réel d'un groupe à adsorption	26
<b>Figure(II.10)</b>	principe de fonctionnement de cycle ouvert refroidissement à dessicant	28
<b>Figure(II.11)</b>	utilisation de rayonnement solaire dans le capteur	29
<b>Figure(II.12)</b>	puissance rayonné quotidiennement le soleil sur une année	29
<b>Figure(II.13)</b>	Capteurs Plan Intégré En Toiture	31
<b>Figure(II.14)</b>	Capteurs A Tubes Sous Vide	31
<b>Figure(II.15)</b>	Capteurs Moquette	32
<b>Figure(II.16)</b>	Les types du capteur à concentration	34
<b>Figure(II.17)</b>	Capteur photovoltaïques	34
<b>Figure(II.18)</b>	Capteur photovoltaïques	35
<b>Figure(II.19)</b>	Représentation 3D de l'orientation et de l'inclinaison d'un capteur solaire	36
<b>Figure(II.20)</b>	Ballon de stockage	37
<b>Figure(II.21)</b>	Système A Compression	38
<b>Figure(II.22)</b>	Schéma Du Système DEC	39
<b>Figure(II.23)</b>	Schéma d'un système de refroidissement par absorption solaire	41
<b>Figure(II.24)</b>	Schéma D'une Climatisation A Adsorption	42
<b>Figure(II.25)</b>	Comparaison Des COP	44
<b>Figure(III.01)</b>	Interface du logiciel TRNYS	53
<b>Figure(III.02)</b>	Interface du logiciel ITRNBuild	54
<b>Figure(III.03)</b>	photo represente la willaya tlemcen	55
<b>Figure(III.04)</b>	Plan qui présente les démontions de tout les zones de la maison	56
<b>Figure(III.05)</b>	Photo qui présenté la facade de mésion	57
<b>Figure(III.06)</b>	Plan 3D de la bâtisse considérée	57

<b>Figure(III.07)</b>	Besoins en chauffage et en rafraîchissement des différentes zones	59
<b>Figure(III.08)</b>	Système conventionnel absorption de climatisation sous environnement TRNSYS	60
<b>Figure(III.09)</b>	Variation annuelle des températures des sources chaude et froide et celle de l'air traité	60
<b>Figure(III.10)</b>	Système de climatisation solaire sous environnement TRNSYS	61
<b>Figure(III.11)</b>	Variation annuelle des températures régulées des différentes zones	62
<b>Figure(III.12)</b>	Variation annuelle des énergies fournies par le capteur solaire et le système d'appoint	63
<b>Figure(III.13)</b>	Variation annuelle de la fraction solaire	64
<b>Figure(III.14)</b>	Variation annuelle de la fraction solaire	65
<b>Figure(III.15)</b>	Influence de la surface de captation sur les performances de l'installation (mois de juin, $V = 0,35 \text{ m}^3$ )	66
<b>Figure(III.16)</b>	Influence de la surface de captation sur la fraction solaire	67
<b>Figure(III.17)</b>	Influence du volume de stockage sur les performances de l'installation (mois de juin, $S=60 \text{ m}^2$ )	68
<b>Figure(III.18)</b>	Influence du volume de stockage sur la fraction solaire (mois de juin, $S=60 \text{ m}^2$ )	69

# ***LISTE DE TABLEAU***

<b>Tableau(I.01)</b>	Taux d'équipement en climatisation dans le monde en 1997	10
<b>Tableau(II.01)</b>	Caractéristiques du capteur	30
<b>Tableau(II.02)</b>	Description des phases de système a compression	40
<b>Tableau(II.03)</b>	Avantages et inconvénients des technologies de climatisation solaire commercialement disponibles	46
<b>Tableau(II.04)</b>	Comparaison entre les systèmes	48
<b>Tableau (III.01)</b>	Représente les compositions de parois	58
<b>Tableau( III.02)</b>	Présentation des type de l'installation	58
<b>Tableau( III.03)</b>	Variation annuelle des energies fournies par le capteur solaire et le système d'appoint	63
<b>Tableau (III.04)</b>	Influence de la surface de captation sur les performances de l'installation (mois de juin, $v = 0,35 \text{ m}^3$ )	66
<b>Tableau (III.05)</b>	Influence du volume de stockage sur les performances de l'installation (mois de juin, $s=60 \text{ m}^2$ )	67

# ***Nomenclature***

R12, R11, R 22	fluide frigorigène	-
CFC	Les halocarbures	-
CO <sub>2</sub>	Dioxyde Carbone	-
NO <sub>x</sub>	les oxydes d'azote	-
SO <sub>2</sub>	les oxydes de soufre	-
UV	l'ultra violet	-
Cl	Chlore	-
O <sub>3</sub>	Ozone	-
RAC	Climatiseurs individuels	-
CAC	Climatisation centralisée	-
EECCAC	L'efficacité énergétique et la certification des appareils de climatisation centrale	-
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie	-
l'OCDE	Organisation de coopération économique	-
HP	Haut pression	-
BP	Basse pression	-
COP <sub>froid</sub>	Coefficient de Performance de l'installation de réfrigération	-
$\dot{Q}_c$	La puissance de condenseur	[KW]
$\dot{Q}_g$	La puissance de générateur	[KW]
$\dot{Q}_e$	La puissance d'évaporateur	[KW]
$\dot{Q}_a$	La puissance d'absorbeur	[KW]
C <sub>chambre adsorption</sub>	La L a quantité de chaleur de la chambre adsorption	[ KJ/kg]
Q <sub>circulateur</sub>	L a quantité de chaleur de	[ KJ/kg]
$\eta_p$	Rendement de machine a compression	-
W	Le travail de compresseur	[KW]
$\dot{Q}_s$	Quantité de chaleur	[ KJ/kg]
$\eta_{sc}$	Rendement globale	-
I <sub>p</sub>	Radiation direct	[kw/m <sup>2</sup> ]

# Bibliographique

- [1] Mr.HENRI NOIREL « (Groupement Amical d'enseignants des Matériels Automobiles ».2002
- [2] Mr. J.P.PRAENE. « Intégration et modélisation dynamique de composants d'un Système de rafraîchissement solar a absorption couplé au bâtiment ». Thèse de doctorat, Réunion: Université de la Réunion, 2007.
- [3] Revue Pratique du Froid, N°894, juin 2001.
- [4].<http://www.cenerg.ensmp.fr/Fransais/therme/sys/html/cles.htm>. MAD - L'Outil Froid, N°10, Avril 1999
- [5] Mr.HILDBRAND, M.BUNEA, M.KLEIJER et S.CITHERLET « potentiel de la climatisation solaire par adsorption en suisse ».2010.
- [6] Le marché mondial de la climatisation est en croissance.
- [7] Mr.HILDBRAND, M.BUNEA, M.KLEIJER et S.CITHERLET « potentiel de la climatisation solaire par adsorption en suisse ».2010.
- [8] EECCAC, "Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners", study for the D.G. Transportation-Energy (DGTREN) of the Commission of the E.U, Co-ordinator : J. ADNOT, September 2002.
- [9] Mr.VITTE BTHIBAUT thèse en génie civil « institut national des sciences appliquées de Lyon »2008.
- [10] Mr. Rémi CHELAN, la climatisation solaire ,mémoire de fin étude D'ingénieurs du bâtiment, école nationale d'ingénieurs de saint –Etienne 2004.
- [11] maîtrise de l'énergie dans l'établissement de santé des pays endéveloppement.
- [12]Mr.JANINE CONCHE « association des retraités du groupe CEA groupe argumentaire sur le nucléaire ».2004.
- [13]Mr.JEMESAIN « RAEE – Etude technico-économique des systèmes de productions de froid » 2007.
- [14] le rafraîchissement solaire par machine à absorption.
- [15]Mr.HANS-MARTIN HENNING, Task25« Introduction à la climatisation solaire »2004

[16]Mr.AMILLE soulez « l'énergie solaire thermique usages résidentiel et collectif.2004»

[17] Capteurs solaire thermique

[18]Mr. A.Joffre,« Energie solaire thermique dans le bâtiment: chauffe-eau solaires »Techniques de l'ingénieur, BE 9164.

[19] Test report: KTB N°. 2006-27: collector test according to EN 12975-1, 2: 2006, Fraunhofer – Institut for solar energy systems ISE

[20] K.Soteris. «Solar Energy Engineering. » USA: ELSEVIER, 2009.

[21] «<http://www.agglo-poy-saix.fr/publications.htm>. »

[22]) Mr. K.Heinloth. «Energy technologies: Renewable energy. » USA: Springer, 2006.

[23]Mr. MELENE « l'intégration architecturale des capteurs solaires enfranche – comté ».

[24]Mr. DONG-SEON KIM «Solar Absorption Cooling» Master of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul geboren te Yesan, Zuid Korea.2007

[25] Le solaire thermique. Avril 2013.

[26]Mr. MAZLOUMI, Mr. NAGHASHZADEGAN, K. JAVAHERDEH “Simulation of solar lithium bromide–water absorption cooling system with parabolic trough collector. Energie conversion and management

[27] Mr.ENERPLAN - Le marché du solaire 2009 en France, le solaire thermique.

[28] Mr. KABOUCHE AZOUZ .mémoire pour l'obtention du diplome de magistere option : architecture bioclimatique architecture et efficacite energetique des panneaux Solaires.

Système	Avantages	Inconvénient
<b>absorption</b>	<p>Pas de vibrations, silence de fonctionnement.  Grande robustesse, car pratiquement pas de pièces tournantes.  Faibles cout de fonctionnement  Disponibilité de matériel.  Source de chaleur possible à partir de capteur solaire thermique.  L'eau tient le rôle de réfrigérant.  La régénération peut se faire grâce à des capteurs solaires thermiques.  Les rejets de chaleur dans l'environnement sont faibles.  Pas de fluide frigoporteur nocif pour l'environnement.  Maintenance simplifiée.  Coût énergétique intéressant par rapport à l'électricité (à peu près équivalent l'été mais nettement moins cher l'hiver).  Fiabilité et durée de vie (les machines à absorption ont une durée de vie estimée de 25 à 30 ans, ce qui est largement supérieur à la durée de vie des machines à compression mécanique)  -Consommation électrique 20 fois inférieure à celle du compresseur remplacé.  Coefficient de performance thermique élevé  Technique de climatisation solaire majoritaire et reconnue</p>	<p>Faibles COP.  Cout élevé d'investissement.  Temps de réponse long.  Pas de froid négatif avec l'eau.  Nécessité d'un déshumidificateur  Technologie non utilisable en région humide  Pas de protection contre une éventuelle contamination non adapté à des petites applications</p> <p>Tour de refroidissement nécessaire  Température de régénération élevée  Risques de cristallisation</p>
<b>à compression</b>	<p>Très bon COP  Encombrement réduit par KW de froid produit.  Mise en fonctionnement rapide  Grande plage de variation de la température d'eau refroidie  Rejet thermique limité</p>	<p>Vibration et bruit  Compresseur trop couteux en énergie électrique  Réfrigération nocifs pour l'environnement son coefficient de performance est variable.  Le liquide absorbant utilisé peut se cristalliser et rendre le circuit non opérationnel  Appoint nécessaire pour garantir une température de consigne : appoint possible au gaz mais COP faible (intéressant si le solaire couvre plus de 80% des besoins) ou appoint bélectrique</p>

<p><b>adsorption</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les températures de l'eau chaude requises pour le fonctionnement du groupe à adsorption autorisent l'utilisation dans certains cas de capteurs plans.</li> <li>-Robustesse</li> <li>-Pas de pompe à solution (consommations réduites)</li> <li>-Pas de contrainte sur la température intermédiaire (pas de risque de cristallisation)</li> <li>- Aucune source d'énergie autre que le soleil (ou une autre source de chaleur, comme des pertes thermiques) n'est nécessaire.</li> <li>-Aucune pièce en mouvement (sauf le volet), la maintenance est donc largement facilitée.</li> <li>-COP équivalent voir légèrement supérieur aux climatisations électro-solaires (des panneaux photovoltaïques alimentant un circuit frigorifique mécanique), les inconvénients en moins (usure et pollution des batteries, maintenance...) !</li> <li>Température de régénération moyenne</li> <li>Simplicité et robustesse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les groupes à adsorption sont plus chers, plus lourds et plus volumineux que les groupes à absorption et leur choix moins grand.</li> <li>- Taille et poids élevés</li> <li>- Coût élevé</li> <li>-Délais de (au moins) 12h entre production de chaud et production de froid.</li> <li>-COP largement (1/10 environ) inférieur aux machines frigorifiques à compresseur.</li> <li>Tour de refroidissement nécessaire</li> <li>Seules les puissances élevées sont disponibles</li> <li>Volume des machines</li> <li>Caractère cyclique <i>déstabilisateur</i></li> <li>Coût</li> </ul>
<p><b>Desiccant cooling</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Température de régénération faible à moyenne</li> <li>Composants connus et largement utilisés</li> <li>Coûts d'investissement faibles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Système tout air neuf non adapté à tous les bâtiments</li> <li>Maintenance soignée obligatoire</li> <li>Peu performant dans les climats chauds et humides (COPth dépendant des conditions intérieures et extérieures)</li> </ul>

**Tableau (II.03)** Avantages et inconvénients des technologies de climatisation solaire commercialement disponibles

## Résumé

L'introduction de technologies qui utilisent des énergies renouvelables comme source de chaleur montre un double avantage : limiter la pollution et réduire le coût de fonctionnement.

La possibilité de production de froid à partir de l'énergie solaire a été initié par les développements technologiques dans la filière solaire. Les recherches dans ce domaine sont motivées par les besoins de climatisation pour le confort thermique dans les bâtiments.

Le but de ce travail consiste à comparer une installation de rafraîchissement solaire et une installation conventionnelle en considérant le cas d'un local multizone. L'étude se fait sous environnement TRNSYS. Des résultats sont présentés et commentés.

## Abstract

The introduction of technologies that use renewable energy as a heat source shows a double advantage: reduce pollution and reduce operating costs.

The possibility of cold production from solar energy has been initiated by technological developments in the solar industry. Research in this area is driven by the needs for thermal comfort in buildings.

The aim of this work is to compare a solar and conventional cooling by considering the case of a multizone local. The study is done under TRNSYS environment. Results are presented and discussed.

## ملخص

يظهر أن التكنولوجيات التي تستخدم الطاقة المتجددة كمصدر للحرارة ميزة مزدوجة الحد من التلوث وخفض تكاليف الوقود. إمكانات إنتاج التبريد باستعمال الطاقة الشمسية من خلال التطور التكنولوجي من حيث احتياجات الهواء لتوفير الراحة الحرارية في المباني.

و الهدف من هذا العمل يتمثل في المقارنة بين تركيب المستعين إما بالطاقة الاحفورية أو الطاقة الشمسية وقد أجريت الدراسة باستعمال البرنامج TRNSYS.