

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie Mécanique



Mémoire de Master

Pour l'obtention du diplôme de master en énergétique.

Climatisation solaire en Algérie

Razika SAAD

Sous la direction de Mr B. GUERGUEB

Présentée et soutenue publiquement le 14/10/2016

Composition du Jury :

Président	M. A Smaili	Pr
Promoteurs	Mr B. GUERGUEB	MAA
Examineur	M. H Bennour	MAA

ENP 2016

Remerciement :

Avant tout je tiens remercier M. GUERGUEB infiniment et je remercie tous les membres de jury pour le temps qu'ils ont accepté d'accorder à l'évaluation de ce travail de mémoire.

ملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو القيام ببحث يشمل الجوانب التكنولوجية، البيئية والاقتصادية للأنظمة التي تسمح بتبريد المباني بالطاقة الشمسية. إذا دراستنا ستشمل الطاقة الشمسية في الجزائر ومختلف أنواع تكنولوجيا التكييف بالطاقة الشمسية وأخيرا القيام بمحاكاة مثال لنظام التبريد بالامتصاص و آخر نظام ضغط البخار مربوط بالواح ضوئية وذلك للمقارنة بينهما.

كلمات البحث: التبريد بالطاقة الشمسية، تجميع الطاقة الشمسية، جهاز الامتصاص، وجهاز الاهتزاز

Abstract:

The objective of this study was to realize a state of technological premises, but also environmental and economic systems to cool the premises using solar energy. So our study will include solar energy in Algeria and the different types of solar cooling technology and end a simulation of an example of an absorption air conditioning system and a vapor compression system coupled with panels PV for comparison.

Keywords : solar cooling, solar collector, absorption machine, adsorption machine.

Résumé :

L'objectif de cette étude est de réaliser un état des lieux technologiques, mais également environnemental et économique des systèmes permettant de climatiser des locaux à l'aide d'énergie solaire. Alors notre étude va englober l'énergie solaire en Algérie et les différents types de technologie, et en fin une simulation d'un exemple d'un système de climatisation à absorption et d'un système à compression de vapeur couplé avec les panneaux photovoltaïques pour faire une comparaison.

Mots clés : climatisation solaire, capteur solaire, machine à absorption, machine à adsorption.

Liste de figures :

figure1.1 potentiel solaire des pays en régions MENA.	4
Figure 1.2 la variation d'ensoleillement dans le monde.	5
Figure 1.3 objectif du programme algérien des énergies renouvelables.	7
Figure 2.1 adéquation entre demande et ressources solaire.	10
Figure 3.1 les différentes technologies de froid solaire.	16
Figure 3.é schéma représente un système de climatisation par absorption.	28
Figure 3. » schéma représente un système de climatisation par adsorption.	31
Figure 4.1 les composant de l'installation thermique	36
Figure 4.2 graphe de la variation de l'énergie du capteur et l'énergie auxiliaire	39
Figure 4.3 les composants de l'installation photovoltaïque	40
Figure 4.4 graphe de variation du l'énergie du capteur photovoltaïque	42
Figure 4.5 histogramme de variation l'énergie de capteur photovoltaïque et l'énergie auxiliaire	43
Figure 4.6 graphe représente une comparaison entre le capteur thermique et photovoltaïque	44
Figure 4.7 graphe représente une comparaison entre l'énergie auxiliaire thermique et photovoltaïque	44

Liste de tableau :

Tableau 1.1 le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie.	6
Tableau 2.1 familles des capteurs solaire thermique.	14
Tableau 4.1 le volume et la capacité de chaque zone de la maison	36
Tableau 4.2 les types de composants de TRNSYS	37
Tableau 4.3 les valeurs de l'énergie de capteur et l'énergie auxiliaire	38
Tableau 4.4 les types de TRNSYS	41
Tableau 4.5 variation de l'énergie de capteur photovoltaïque et l'énergie auxiliaire	41

Remerciement

Résumé

Liste de figures

Liste de tableaux

Table des matières

<i>Introduction générale</i>	8
<i>Chapitre 01 : énergie solaire en Algérie</i>	11
1. Introduction :	11
2. Energie solaire en Algérie :	12
3. Les projets du solaire en Algérie :	13
4. Recherche et développement :	14
<i>Chapitre 02 : climatisation solaire</i>	17
1. Introduction :	17
2. Climatisation Solaire :	18
3. Les Avantages De Climatisation Solaire :	18
4. Les Différents Types De Climatisation Solaire :	19
5. Les Energies Solaires :	20
a. Energie Solaire Photovoltaïque :	20
b. Énergie Solaire Thermique :	20
<i>Chapitre 03 : les différentes technologies de climatisation solaire</i>	23
1. Introduction :	23
2. Système de climatisation ou réfrigération solaire photovoltaïque :	24
2.1. Les systèmes à compression de vapeur :	24
2.2. Les systèmes à effet Peltier :	25

3.	Climatisation solaire par absorption :.....	26
	Principe de fonctionnement.....	26
	Les rendements :.....	27
	Exemple d'un système de climatisation à absorption :	28
4.	Climatisation solaire par adsorption :.....	29
	Principe de fonctionnement :.....	29
	Exemple d'un système de climatisation par adsorption :	30
	Discussion :	32
	<i>Chapitre 04 : simulation des systèmes de climatisation.....</i>	<i>34</i>
1.	Introduction :	34
2.	TRNSYS :.....	34
3.	Les avantages du logiciel TRNSYS :	35
4.	Présentation et caractéristique de la maison :.....	35
5.	Simulation d'un système à absorption:.....	36
6.	Résultats et interprétations de système thermique :.....	38
6.1.	La variation de l'énergie du capteur et l'énergie auxiliaire :	38
7.	Simulation d'un système photovoltaïque :	40
7.1.	L'énergie du capteur photovoltaïques et l'énergie auxiliaire :	41
8.	Comparaison technico-économique entre le système thermique et le système photovoltaïque :.....	43
8.1.	L'énergie captée par un capteur thermique et celle par un capteur photovoltaïque :.....	43
9.1.	L'énergie auxiliaire du système thermique et photovoltaïque.....	44
	<i>Conclusion générale :.....</i>	<i>46</i>
	<i>Références bibliographiques</i>	<i>47</i>

Introduction générale

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

La grande partie de l'énergie consommée provient des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon, etc.) dont l'utilisation massive peut conduire à l'épuisement de ces réserves et menace réellement l'environnement. Cette menace s'est manifestée principalement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre. La grande préoccupation du monde actuel est d'atténuer cette pollution en essayant d'adapter les sources d'énergie classiques à des critères très sévères et de développer d'autres alternatives mettant en valeur les différentes formes des énergies renouvelables.

Les énergies renouvelables ont connu une première phase de développement à l'occasion des chocs pétroliers de 1973 et 1978. Une baisse de 5.2 % des émissions de gaz à effet de serre des pays riches sur la période 2002-2012 par rapport à 1990. L'industrie de la réfrigération et du conditionnement d'air s'est trouvée parmi les plus durement concernées par cet accord.

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

Notre pays s'est engagé dans de grands projets de promotion immobilière. Il est donc clair que la demande en confort thermique va augmenter en conséquence et constituera une charge supplémentaire sur le réseau énergétique actuel déjà en difficulté surtout en périodes caniculaires. La prise en compte de la spécificité de notre climat et l'intégration des technologies solaires aux projets permettront de réduire les charges en matière de confort thermique.

En effet, notre étude a pour but de familiariser avec les différents systèmes de climatisation solaire, pour cela on a met le premier chapitre sur l'énergie solaire en Algérie telle que la disponibilité de cette énergie dans notre pays et les projets existants et les futurs projets qi sont orientés dans ce domaine, puis un deuxième chapitre sur la climatisation solaire, son principe de fonctionnement, les avantages et les inconvénients et les différents types de capteur solaire et de systèmes de climatisation solaire dont on a les détaillé dans le chapitre 3. En fin le dernier chapitre était sur une comparaison entre de système de climatisation un système à absorption et un système à compression de vapeur.

Chapitre 01 :

Énergie solaire en Algérie

Chapitre 01 : énergie solaire en Algérie.

1. Introduction :

Le recours aux autres sources d'énergie, y compris les énergies renouvelable, est cerné dans le concept de la transition énergétique. La transition énergétique peut se définir comme le passage d'une civilisation humaine construite sur une énergie essentiellement fossile, polluante, abondante et peu chère à une civilisation où l'énergie est renouvelable, rare, chère et moins polluante ayant pour objectif le remplacement à terme des énergies de stock (pétrole, charbon, gaz...) par les énergies de flux (éolien, solaire, biomasse,...). [1]

L'Algérie en particulier et les pays du Maghreb ont un potentiel solaire élevé. Les taux d'irradiation solaire effectués par satellites par l'Agence Spatiale Allemande (DLR), montrent des niveaux d'ensoleillement exceptionnels de l'ordre de 1200 KWh/m²/an dans le Nord du Grand Sahara. Par contre, les meilleurs taux d'irradiation solaire en Europe sont de l'ordre de 800 kWh/m²/an limités à la partie sud de l'Europe. Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit: 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque et 35 TWh/an pour l'éolien [2]. Cette énergie renouvelable présente à l'heure actuelle une réponse aux problèmes environnementaux et aux émissions de gaz à effet de serre qui menace la planète entière et une solution durable à la crise actuelle de l'énergie, avec la hausse du prix du baril de pétrole, ce qui place les énergies renouvelables, ENR, (hydraulique, éolien, photovoltaïque, solaire thermique, géothermie, biomasse, biogaz et pile à combustible), au centre des débats portant sur l'environnement, et plus généralement le développement durable. [3]

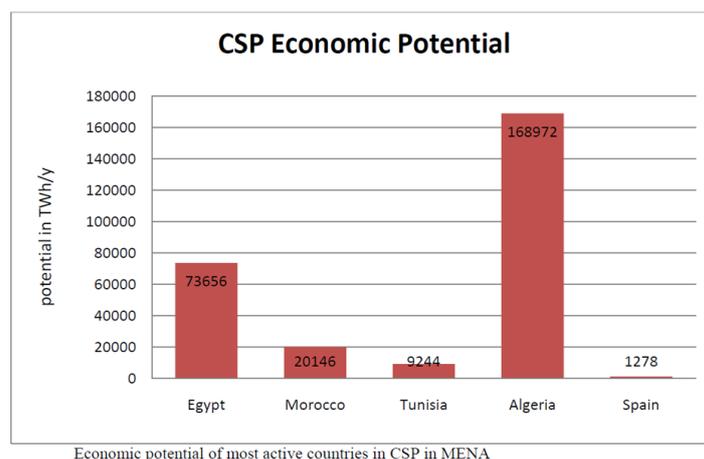


Figure 1. 1 potentiel solaire des pays en régions MENA [7]

La transition vers les énergies renouvelables en Algérie devrait être une nécessité et un choix stratégique. Elle permet [4]:

- ✓ D'amorcer un développement durable apte à sécuriser l'accès à l'énergie aux populations même celles qui vivent dans les zones rurales et les plus enclavées
- ✓ De créer des industries, des activités économiques et des emplois verts : 6,5 million d'emplois directs ou indirects ont été créés dans les industries des énergies renouvelables dans le monde en 2013,
- ✓ En Algérie, l'étude de l'agence Allemande GIZA relevé que près de 600.000 personnes, en majorité des jeunes, travaillent actuellement en Algérie dans des activités liées à l'économie verte en plus de 1,4 million d'emplois qui pourraient être créés en Algérie à l'horizon 2025 dans les activités liées à l'économie verte.

2. Energie solaire en Algérie :

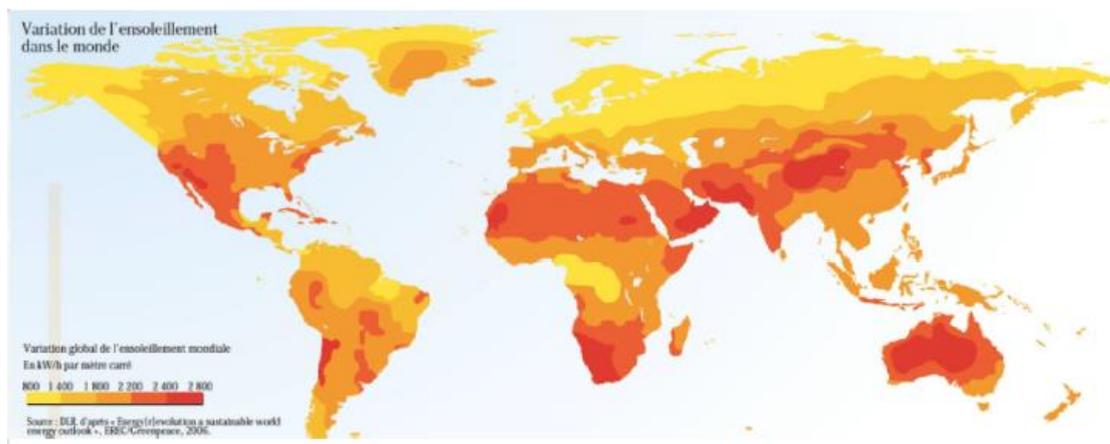


Figure 1. 2 la variation de l'ensoleillement dans le monde. [4]

De par sa situation géographique, l'Algérie possède un gisement solaire parmi les plus élevés dans le monde, la durée moyenne d'ensoleillement dans le Sahara algérien est de 3500 heures, ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable dans cette région, s'il est exploité de manière économique.

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure

partie du territoire national, soit près de 1700 KWh/m²/an au Nord et 2263 KWh/m²/an au sud du pays. [3]

Tableau 1. Ile taux d'enseillement pour chaque région de l'Algérie.

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie	4%	10%	86%
Durée moyenne d'enseillement (heurs/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m ² /an)	1700	1900	2650

3. Les projets du solaire en Algérie :

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique. Cette vision du programme algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain.

Le potentiel national des énergies renouvelables étant fortement dominé par le solaire, l'Algérie considère cette énergie comme une opportunité et un levier de développement économique et social, notamment à travers l'implantation d'industries créatrices de richesse et emplois.

L'Algérie s'engage avec détermination sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions globales et durables aux défis environnementaux et aux problématiques de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile. Ce choix stratégique est motivé par l'immense potentiel en énergie solaire. Cette énergie constitue l'axe majeur du programme qui consacre au solaire thermique et solaire photovoltaïque une part essentielle. [1]

Les investissements inscrits dans le cadre du programme national des énergies renouvelables ne seront pas directement financés par l'Etat, mais le seront par des opérateurs algériens et étrangers. [5]

On mentionne comme projets :

- ✓ Le projet d'une usine de production de panneaux photovoltaïques à Rouiba.
- ✓ Usine d'ENIE Solar à Sidi Bel Abbès.
- ✓ Usine d'Aurès à Batna.
- ✓ Usine de Condor Electronics de Bordj Bou Arréridj. [6].
- ✓ Projet d'une centrale photovoltaïque de démonstration dans la région de Ghardaia. centrale cylindro-parabolique Hybride de Hassi R'mel.
- ✓ Projet d'une Centrale à Tour de recherche à Boughzoul.
- ✓ Projet d'une Usine de production de panneaux photovoltaïques à Larbaâ par Cevital.
- ✓ Projet de 02 centrales à Tour à Beni Abbès et El Oued.[7]

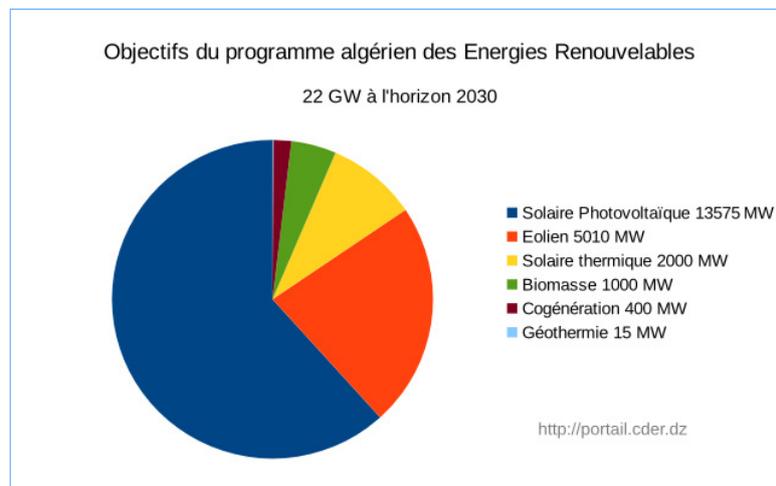


Figure 1. 3 Objectif du programme algérien des énergies renouvelables [8]

4. Recherche et développement :

L'Algérie encourage la coopération avec les centres de recherche en vue de développer les technologies et les procédés innovant en matière d'efficacité énergétique et d'énergie

renouvelables. Les universités, les centres de recherches, les entreprises et les différents du programme des énergies renouvelables collaborent pour sa mise en œuvre et interviennent sur les différentes étapes de la chaîne d'innovation. Ils valorisent ainsi davantage les atouts dont dispose le pays.

Outre les centres de recherche affiliés aux entreprises comme le CREDEG, filiale du groupe Sonelgaz, le secteur de l'énergie et des mines compte une agence de promotion et de rationalisation de l'utilisation d'énergie (APRUE) et une société spécialisée dans le développement des énergies nouvelles et renouvelables (NEAL).

Le CDER, centre de développement des énergies renouvelables, est chargé d'élaborer et de mettre en œuvre des programmes de recherche et ce développement scientifique et technologiques, des systèmes énergétiques exploitant l'énergie solaire, éolienne, géothermique et l'énergie de la biomasse.

L'UDTS, unité de développement de la technologie du silicium, a pour mission de mener des actions de recherche scientifique, d'innovation technologique, de formation et de formation post graduée dans les domaines des sciences et des technologies des matériaux et dispositif à semi-conducteurs pour les applications dans plusieurs domaines : photovoltaïque, détection, stockage de l'énergie...etc.

Le gouvernement algérien a créé également un institut algérien des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique (AIER) qui jouera un rôle fondamental les efforts de formation que déploie le pays permettant ainsi d'assurer de manière qualitative le développement des énergies renouvelables en Algérie. Les dispensées par cet institut couvre notamment les domaines d'engineering, de sûreté et de sécurité, d'audit énergétique et management des projets.

La coopération scientifique étant considérée comme une part essentielle pour le développement de toutes les activités de recherche, l'Algérie encouragera les échanges entre les entreprises et les différents centres de recherches à travers le monde, notamment les réseaux spécialisés dans les énergies renouvelables. [1]

Chapitre 02 :
Climatisation Solaire

Chapitre 02 : climatisation solaire.

1. Introduction :

Durant les dernières décennies, la consommation d'énergie due à la climatisation a dramatiquement augmenté dans la plupart des pays. On peut avancer comme principales raisons à cette explosion de la demande d'énergie due à la climatisation, l'augmentation des exigences de confort des personnes mais aussi la tendance architecturale qui consiste à augmenter la proportion de surfaces vitrées de l'enveloppe des bâtiments. [9]

Malgré une utilisation optimale des techniques passives, un système de climatisation s'avère nécessaire, le rafraîchissement solaire peut être une solution intéressante. Durant les périodes de fort ensoleillement, l'utilisation de l'énergie solaire pour le rafraîchissement est un concept séduisant, puisque les besoins en froid coïncident la plupart du temps avec la disponibilité du rayonnement solaire.

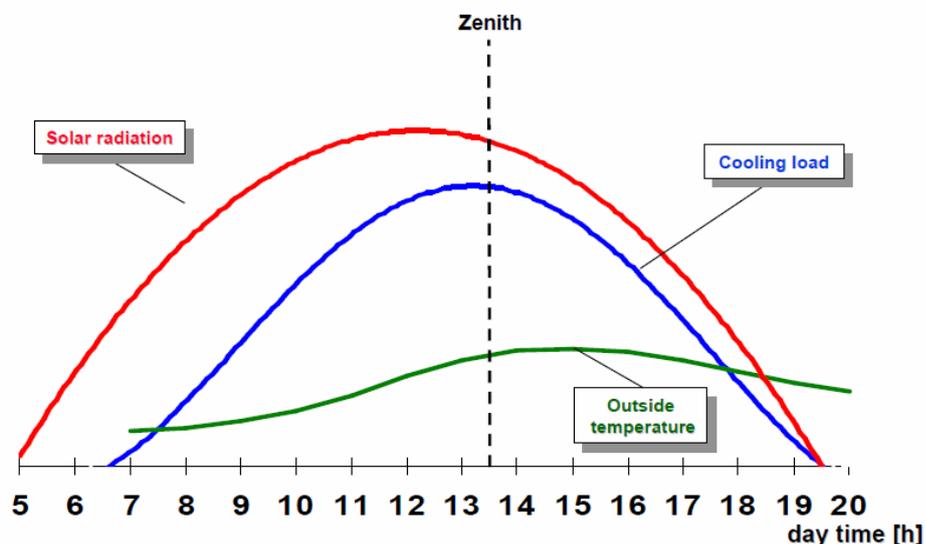


Figure 1. 4 Adéquation entre demande et ressource solaire [10]

L'intérêt du sujet se justifie par le fait que la climatisation utilisant l'énergie solaire supprime la quasi-totalité des nuisances dues aux techniques de climatisation classiques ou conventionnelles. [11]

2. Climatisation Solaire :

Depuis plus d'une dizaine d'années, une alternative s'offre à la climatisation traditionnelle pour produire du froid grâce à l'énergie inépuisable du soleil ! Il s'agit du rafraîchissement ou climatisation solaire. Une technique, déjà mise en œuvre, en phase de développement, et qui permet de consommer 20 fois moins d'électricité qu'un système traditionnel. [12]

L'expression « climatisation solaire » désigne l'ensemble des moyens de climatiser en utilisant comme ressource énergétique primaire l'énergie communiquée par les rayonnements du soleil. Ce mode de climatisation qui peut se substituer à l'utilisation de ressources fossiles présente comme principal intérêt de pouvoir fournir le plus de froid quand il fait le plus chaud, ce qui correspond généralement aux périodes où le soleil est le plus disponible. Dans les régions les plus chaudes, l'évacuation de la chaleur extraite des bâtiments à climatiser peut cependant se révéler problématique. [13]

Le système de climatisation avec énergie solaire fonctionne généralement de la même manière, quelles que soient les subtilités de l'installation. Il faut d'abord filtrer l'air, le déshumidifier, le passer à travers un échangeur de chaleur, le réhumidifier et le ventiler afin de le refroidir. [14]

3. Les Avantages De Climatisation Solaire :

La climatisation solaire présente de nombreux avantages, économiques et écologiques. En effet, utiliser un climatiseur solaire permet une consommation d'énergie presque 20 fois inférieure à celle d'un climatiseur classique. La pollution, assez présente dans ce dernier, est inexistante dans le système de climatisation solaire (fluides frigorigènes inoffensifs). De plus, sa durée de vie est supérieure à celle d'un climatiseur classique (il est de 25 ans pour un climatiseur 100% solaire contre 10 pour un modèle classique) et ce grâce à l'absence de pièces mécaniques en mouvement et à la source d'énergie inépuisable qu'est le soleil. Enfin, aucun bruit n'est généré par ce type de climatisation à énergie gratuite. [15]

4. Les Différents Types De Climatisation Solaire :

La production de froid est possible grâce à quatre types de climatisation solaire : la climatisation par absorption, la climatisation par adsorption, la climatisation par dessiccation-évaporation et la climatisation par effet thermique-vortex.

➤ Climatisation solaire par absorption :

Capturés par les panneaux solaires thermiques, les rayons du soleil permettent de fournir de la chaleur à un couple de liquide réfrigérant/absorbant. Ici, c'est une solution d'eau et de bromure de lithium qui est portée à ébullition dans le désorbeur du système d'absorption. Le réfrigérant (eau), qui est plus volatil que l'absorbant (bromure de lithium), s'évapore et est transporté vers le condenseur. Il y cède alors sa chaleur, devient liquide et passe par la suite par le détendeur qui va une fois de plus le vaporiser. Ce processus de vaporisation se fait en absorbant la chaleur de l'air ambiant dont la température se rafraîchit.

➤ Climatisation solaire par adsorption :

Le couple réfrigérant/absorbant eau/bromure de lithium est remplacé par le couple réfrigérant/adsorbant eau/silica-gel et l'adsorbant est placé dans deux compartiments. À ce jour, rares sont les fabricants à proposer des climatiseurs solaires utilisant le système d'adsorption.

➤ Climatisation solaire par dessiccation :

Contrairement aux climatiseurs solaires par absorption et adsorption, le climatiseur solaire par dessiccation utilise un système ouvert et passif : de l'eau en contact direct avec l'air (fluide caloporteur). Ce dernier, encore humide et chaud, subit une déshumidification après avoir traversé une roue à dessiccation. Refroidi deux fois de suite par un échange thermique et un humidificateur, il finit par être évacué dans la pièce à refroidir, avec la température programmée par l'utilisateur.

➤ Climatisation solaire par effet thermique et vortex :

Tout comme la climatisation par dessiccation, la climatisation solaire par effet thermique est passive. L'air, qui passe dans un tuyau de poêle noir de 8 m, est chauffé et crée une aspiration à la base du tuyau. Un vortex est alors formé par un système d'ailette et un tuyau récupère l'air plus frais qui se trouve au centre du grand tuyau.[15]

5. Les Energies Solaires :

a. Énergie Solaire Photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'énergie récupérée et transformée directement en électricité à partir de la lumière du soleil par des panneaux photovoltaïques. Elle résulte de la conversion directe dans un semi-conducteur d'un photon en électron. Outre les avantages liés au faible coût de maintenance des systèmes photovoltaïques, cette énergie répond parfaitement aux besoins des sites isolés et dont le raccordement au réseau électrique est trop onéreux.

L'énergie solaire photovoltaïque est une source d'énergie non polluante. Modulaires, ses composants se prêtent bien à une utilisation innovante et esthétique en architecture. La stratégie énergétique de l'Algérie repose sur l'accélération du développement de l'énergie solaire. Le gouvernement prévoit le lancement de plusieurs projets solaires photovoltaïques d'une capacité totale d'environ 800 MWc d'ici 2020. D'autres projets d'une capacité de 200 MWc par an devraient être réalisés sur la période 2021-2030.

b. Énergie Solaire Thermique :

L'énergie solaire thermique est la transformation du rayonnement solaire en énergie thermique. En utilisant la chaleur transmise par rayonnement plutôt que le rayonnement lui-même, ces modes de transformation d'énergie se distinguent des autres formes d'énergie solaire comme les cellules photovoltaïques.

La radiation directe du soleil est concentrée par un collecteur sur un échangeur où elle est cédée à un fluide, soit vaporisé directement, soit transportant la chaleur à un générateur de vapeur. Tous les systèmes ont en commun un certain nombre d'organes : un collecteur qui concentre la chaleur, un liquide ou un gaz caloporteur qui la transporte jusqu'à un point d'extraction, un évaporateur, un condenseur, une turbine et un alternateur.

L'Algérie entend mettre en valeur son potentiel solaire, l'un des plus importants au monde, en lançant des projets importants en solaire thermique. Sur la période 2016-2020, quatre centrales solaires thermiques avec stockage d'une puissance totale d'environ 1 200 MW devraient être mises en service. Le programme de la phase 2021-2030 prévoit l'installation de 500 MW par an jusqu'en 2023, puis 600 MW par an jusqu'en 2030. [16]

Tableau 2.1 familles de capteurs solaire thermique [17]

Axe de rotation	Types de capteur	Type d'absorbeur	Concentration	Range de température	photo
Stationnaire	Capteur non vitré	Plat	Non	0-20	
	Capteur plan	Plat	Non	30-100	
	Capteur à tube sous vide	Plat	Non	50-130	
1 axe	Capteur linéaire de Fresnel	Tubulaire	Oui	60-400	
	Capteur cylindro-parabolique	Tubulaire	Oui	100-450	
2 axes	Capteur solaire parabolique	Point	Oui	100-500	
	Champ d'héliostats	Point	Oui	150-2000	

Chapitre 03 :

Les différentes technologies
de climatisation solaire

Chapitre 03 : les différentes technologies de climatisation solaire.

1. Introduction :

Le logement et les bâtiments tertiaires sont à l'origine de 22% des émissions nationales de gaz à effet de serre et consomment 46% de l'énergie finale. Des températures estivales très élevées, une conception des bâtiments peu adaptée et une demande croissante de confort conduisent à un fort développement de la climatisation dans les bâtiments. Dans ce contexte, une amélioration de la conception à l'égard du confort d'été devient incontournable. Des solutions passives existent pour réduire fortement les besoins de rafraîchissement et les nouvelles technologies de refroidissement solaire peuvent contribuer au maintien de conditions de confort satisfaisantes dans les bâtiments tout en préservant l'environnement. [18]

Méthode	Cycle fermé		Cycle ouvert	
Cycle du réfrigérant	Cycle du réfrigérant fermé		Le réfrigérant (eau) est en contact avec l'atmosphère	
Principe	Eau glacée		Déshumidification de l'air et refroidissement évaporatif	
Phase du sorbant	Solide	Liquide	Solide	Liquide
				
Couples utilisés	eau – silica gel	eau – bromure de lithium ammoniacque – eau	eau – silica gel eau – chlorure de lithium	eau – chlorure de calcium eau – chlorure de lithium
Technologie disponible sur le marché	Machine à adsorption	Machine à absorption	Système à dessiccation	Proche de l'introduction sur le marché
Gamme de puissance froid (kW froid)	50 – 430 kW	15 kW – 5 MW	20 kW – 350 kW par module	
COP nominal	0,5 – 0,7	0,6 – 0,75 (Simple effet)	0,5 – >1	> 1
Température de fonctionnement	60 – 90 °C	80 – 110 °C	45 – 95 °C	45 – 70 °C
Capteurs solaires	Tubes sous vide, capteurs plans	Tubes sous vide Capteurs plans,	capteurs à air Capteurs plans,	capteurs à air

Figure 3.1 les différentes technologies de froid solaire

2. Système de climatisation ou réfrigération solaire photovoltaïque :

2.1. Les systèmes à compression de vapeur :

Le procédé le plus répandu pour la production de froid, est la réfrigération à compression, basée sur la condensation de vapeur d'un fluide réfrigérant, suite à une compression, une détente et une évaporation.

Ce principe est inverse à celui employé dans les pompes à chaleur, ce qui nous fait appeler improprement ce système, une pompe à chaleur inversée.

Tout système frigorifique à compression comprend un élément important, le réfrigérant, un fluide frigorigène dont les propriétés sont d'absorber la chaleur (les calories) lorsqu'il passe de sa phase liquide à sa phase gazeuse.

En fonction des températures de fonctionnement des deux échangeurs (condenseur et évaporateur), le fluide frigorigène ne sera pas le même : c'est ce qui fait la différence par exemple, entre une climatisation et un congélateur.

✓ Le principe de fonctionnement :

Un compresseur électrique met en circulation le réfrigérant qui sort sous haute pression à l'état gazeux et très chaud (l'échauffement est dû à la compression mécanique). Il traverse alors le condenseur où, comme son nom l'indique, le fluide frigorigène se condense en perdant beaucoup de calories (c'est ce qui fait que la « grille » à l'arrière de nos réfrigérateurs est chaude). On observe donc un changement d'état du réfrigérant qui devient liquide et se dirige, toujours sous pression, vers le détendeur, dans ce qu'on appelle, à juste titre, la « ligne liquide ». Le détendeur est un petit appareil qui va créer une restriction, c'est-à-dire une chute de pression du fluide frigorigène. Cette chute de pression, à la sortie du détendeur, a pour effet de faire chuter également la température du fluide. A ce moment du circuit de réfrigération, le fluide réfrigérant est alors un mélange d'environ 15 % en gaz et de 85 % en liquide. Le mélange à basse pression traverse alors l'évaporateur dans lequel un nouveau changement d'état s'opère.

La partie liquide du fluide entre en ébullition et absorbe les calories qui sont au voisinage de l'évaporateur. Il y a un effet de glaciation superficielle qui apparaît sur le circuit. Le fluide en absorbant les calories, retourne à l'état gazeux basse pression, et est aspiré par le compresseur sous haute pression et le cycle se renouvelle. [19]

2.2. 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. [19]

En 1834, le physicien Français JEAN PELTIER découvrit le second effet thermoélectrique : une différence de température apparaît aux jonctions de deux matériaux de nature différente (matériau type n et matériau type p) soumis à un courant électrique. Un matériau thermoélectrique permettra donc de générer du froid ou de la chaleur par l'application d'un courant électrique. [20]

✓ *principe de fonctionnement :*

Lorsque les porteurs de charge passent d'un niveau de basse énergie à un niveau d'énergie plus élevé e (par exemple lors du passage d'un matériau de type p à un matériau de type n), ils reçoivent de l'énergie de la part du système avec lequel ils interagissent. Or ce système ne peut être que le réseau cristallin sur lequel ils effectuent des collisions.

Ainsi, le réseau cristallin cède de l'énergie aux porteurs de charge et par conséquent l'effet Peltier se traduit par un refroidissement de la jonction. Si au contraire, les porteurs de charge passent d'un niveau de haute énergie à un niveau de basse énergie quand ils traversent une jonction, l'énergie perdue est cédée au réseau et l'effet Peltier se traduit par un échauffement de la jonction. C'est donc la différence de nature entre les matériaux a et b et le sens du courant qui les traverse qui sont les causes d'un gradient de température dans l'échantillon.

Le couplage entre les phénomènes électriques et thermiques ouvre la voie à deux applications possibles, à savoir la réfrigération et la génération électrique. La réfrigération est rendue possible par le flux de chaleur qui s'établit suite à l'imposition de courant électrique aux bornes d'un matériau. Ce flux permet d'évacuer la chaleur d'un Corps à réfrigérer vers une zone où la chaleur est dissipée vers le milieu ambiant. La génération de courant peut se produire quand une chaleur extérieure impose une différence de température aux extrémités du matériau. Une tension électrique s'établit et elle peut être exploitée pour générer un courant dans une résistance de charge. [20]

3. Climatisation solaire par absorption :

Les machines à absorption sont les systèmes frigorifiques thermiques les plus répandus dans le monde. Considérant le système dans son ensemble, le principe des machines à absorption est très simple. [21]

Technologie encore jeune, elle ne présente cependant pas de difficultés à mettre en œuvre. Le principe est déjà largement utilisé dans nos réfrigérateurs à compression, il est simplement décliné pour le solaire. [22]

En été, l'énergie de soleil est collectée grâce à des capteurs solaires thermiques (sous vide ou plans). Cette énergie est ensuite stockée dans un ballon qui a pour principal but de lisser les variations d'ensoleillement. Cette énergie est par suite envoyée vers la machine à absorption qui est alors capable d'extraire de la chaleur du bâtiment. Finalement, toute l'énergie accumulée dans la machine à absorption est évacuée grâce à une tour de refroidissement. [21]

Comme dans les réfrigérateurs à compression, un réfrigérant s'évapore à basse température et à basse pression. Le réfrigérant soustrait de la chaleur et produit ainsi l'effet frigorifique souhaité. La climatisation solaire à absorption utilise l'énergie thermique du soleil dans un dispositif à circuit fermé qui utilise comme particularité de produire de l'eau froide.

Ce procédé utilise un moyen de sorption liquide, de l'eau à laquelle a été ajouté du bromure de lithium ou de l'ammoniac. Il permet d'atteindre des puissances disponibles de 35 à 5 000 kW. [22]

Principe de fonctionnement

Le processus se compose donc de deux cycles liés entre eux : le cycle réfrigérant et le cycle solvant. Le réfrigérant à l'état gazeux venant de l'évaporateur est absorbé dans l'absorbeur par le solvant. La solution liquide est, à partir de ce moment, riche en réfrigérant. Elle est portée à un niveau de pression plus élevée par une pompe dans le bouilleur.

Ici, le réfrigérant est « chassé », par un apport de chaleur venant des capteurs solaires, jusqu'au condenseur, puis il est détendu et amené à nouveau dans l'évaporateur.

De cette façon le cycle réfrigérant est bouclé. La solution, pauvre en réfrigérant (puisqu'il a été chassé vers le condenseur), quitte le bouilleur, passe par un restricteur et

s'écoule dans l'absorbeur, pour capter à nouveau la vapeur de la réfrigérante revenue à l'évaporateur.

De cette façon le cycle du solvant est bouclé. Le cycle solvant est basé sur le décalage provoqué dans les équilibres thermiques d'une combinaison de deux matières, lors de conditions de pression et de température différentes. La production de chaleur de l'absorbeur et du condenseur est évacuée par une tour de réfrigération ou par récupération de cette chaleur. Selon le niveau de température souhaité, différentes associations de matières sont utilisées pour produire du froid :

- Pour la climatisation de bâtiments (températures positives) : de l'eau et du bromure de lithium (LiBr).
- Pour de la congélation (températures inférieures à 0°C) : de l'eau et de l'ammoniac (NH₃).

Les rendements :

Dans un système de climatisation solaire à *absorption*, on fait face à deux types de rendements :

- ***Le rendement thermique*** : comme tous les appareils dédiés à faire du froid, la climatisation solaire à un coefficient de performance (COP). Ce COP est défini comme le rapport de la puissance de froid, divisée par la puissance de chauffe nécessaire. On atteint des COP de 0,7 dans des systèmes mono étages, des COP supérieurs à 1 pour des systèmes multi étages. Toutefois, les températures d'entrée dans l'évaporateur augmentent dans les systèmes multi étages (130 – 160°C pour 80 – 110°C dans les systèmes mono étages).
- ***Le rendement des capteurs solaires*** : en général, pour les capteurs solaires thermiques (chauffe-eau solaire), le rendement baisse lorsque la température du capteur monte. Dans le cas d'une installation de refroidissement à absorption, en revanche, le rendement augmente lorsque la température de chauffage monte. Tout l'art de développer des concepts performants réside donc dans le choix de meilleurs capteurs (à tubes sous vide) qui conduisent à une réduction au minimum des dépenses en énergie solaire primaire. [22]

Exemple d'un système de climatisation à absorption :

- 1- Une solution composée d'un couple liquide réfrigérant et liquide absorbant est portée à ébullition à l'intérieur du désorbeur grâce à l'apport calorifique de panneaux solaires thermiques. La pression augmente et le réfrigérant s'évapore en se séparant de l'absorbant.
- 2- Les vapeurs du réfrigérant sont dirigées vers le condenseur où elles cèdent leur chaleur par refroidissement au contact de l'air ambiant.
- 3- Les condensats du réfrigérant sont détendus pour accéder à la zone basse pression de l'installation.
- 4- Le réfrigérant à l'état liquide est dirigé dans l'évaporateur où il se vaporise instantanément en prélevant les calories du local à refroidir.
- 5- Conjointement, la solution absorbante « pauvre en réfrigérant » est soutirée du désorbeur via une vanne de détente pour alimenter l'absorbeur. Les vapeurs de la réfrigérante mise en contact avec cette solution sont alors absorbées.
- 6- Le couple réfrigérant-absorbant ainsi régénéré est ramené vers le désorbeur par une pompe. Le cycle peut alors recommencer. [18]

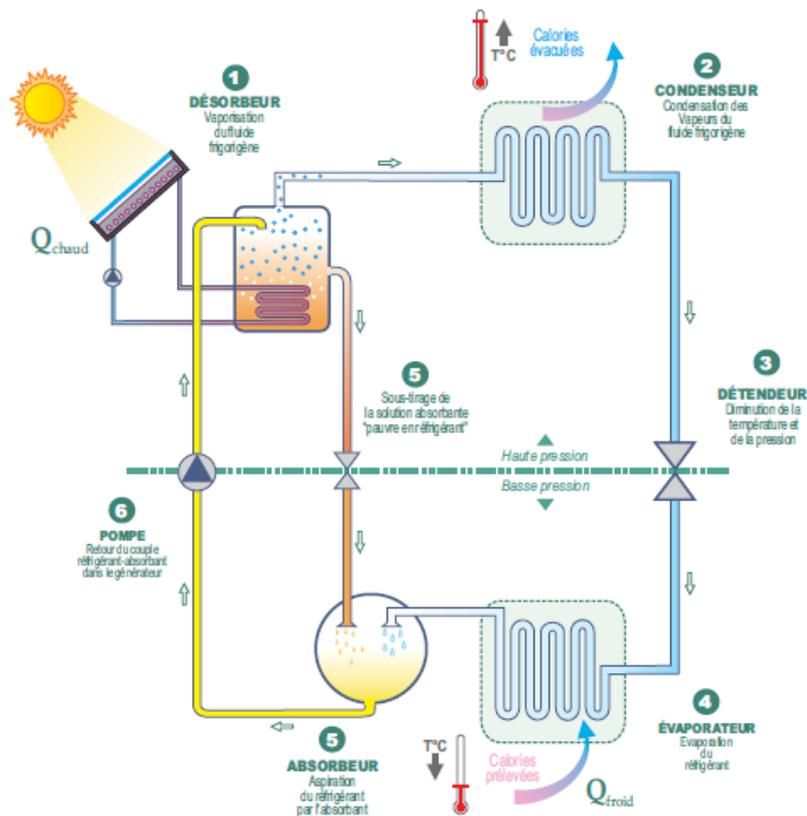


Figure 3. 2 schéma représente un système de climatisation par absorption.

4. Climatisation solaire par adsorption :

L'adsorption est un phénomène général résultant de l'interaction modérée entre un solide, l'adsorbant, et un gaz. En enfermant du charbon actif et du gaz dans un système clos, on parvient à faire varier la pression de plusieurs ordres de grandeur par simple changement de température, la quantité de gaz piégé dans le milieu solide étant fonction de la température de l'enceinte. Cette possibilité peut être mise à profit pour réaliser des systèmes de réfrigération par évaporation comprenant peu de pièces mécaniques en mouvement.[18]

La climatisation solaire par adsorption est une technique moins connue, et beaucoup moins utilisée que les techniques par absorption. Mais nécessitant des températures d'entrée beaucoup plus faibles (60 à 95°C), on peut utiliser de simples capteurs plans, moins coûteux à l'achat. De plus, son fonctionnement très simple ne nécessite pas d'additifs réfrigérants polluants, mais simplement de l'eau naturelle. C'est donc une technologie écologique qui vaut la peine d'être étudiée.

La climatisation solaire par adsorption utilise aussi de l'eau comme pour les systèmes par *absorption*, mais avec cette technique, l'eau est absorbée à la surface d'un corps comme le gel de silice (silicagel), qui agit comme réfrigérant en libérant de la chaleur de liaison.

C'est comme pour le système à *absorption*, un système qui fonctionne en circuit fermé mais qui utilise dans ce cas, un moyen de sorption solide, le gel de silice.

Contrairement aux systèmes à *absorption* qui peuvent développer des puissances allant jusqu'à 5 000 kW, une climatisation solaire à *adsorption* se limite dans des puissances de 50 à 430 kW.

Principe de fonctionnement :

Le dispositif réfrigérant à *adsorption* se compose d'un récipient sous vide, subdivisé en quatre chambres.

Deux des chambres sont remplies d'un sorbant, du gel de silice. Le réfrigérant est tout simplement de l'eau.

Dans la première chambre, l'évaporateur (1), le réfrigérant s'évapore sous basse pression et à basse température. La chaleur d'évaporation nécessaire est extraite de l'eau à refroidir.

Dans la seconde chambre, le désorbeur (2), alimenté par la chaleur solaire des capteurs à environ 80°C, l'échangeur de chaleur est un serpentín de cuivre enrobé de gel de silice qui remplit la chambre. La chaleur solaire « chasse » le réfrigérant absorbé par le gel de silice.

Dans la troisième chambre, l'accumulateur ou « adsorbant » (3), la vapeur d'eau est adsorbée par le gel de silice qui enrobe le serpentín de cuivre, comme dans la seconde chambre.

La chaleur qui en résulte est évacuée vers une tour de réfrigération. Il y a donc un échange entre la chambre deux (le désorbeur) et la chambre trois (l'adsorbant) après chaque cycle de réfrigération/chauffage.

La quatrième chambre supérieure est le condenseur (4). Le réfrigérant y est condensé, puis conduit dans l'évaporateur.

Toutes les chambres sont reliées par des vannes à clapet, actionnées automatiquement par les écarts de pression dominants, de sorte qu'un processus circulaire périodique fermé s'établit.

La chaleur perdue peut éventuellement être récupérée. Le cycle total dure environ sept minutes avec un passage de vingt secondes lors de la phase de transition de flux entre deux chambres, de sorte que la chaleur est récupérée. [23]

Exemple d'un système de climatisation par adsorption :

- 1- Un premier compartiment contenant le solide adsorbant en équilibre thermodynamique avec le fluide réfrigérant reçoit l'apport calorifique de panneaux solaires thermiques. L'adsorbant s'échauffe, ce qui provoque la désorption du réfrigérant et une élévation de pression, Lorsque la pression de vapeur du réfrigérant atteint la valeur correspondant à la pression du condenseur, le clapet est ouvert et les vapeurs sont connectées au condenseur.
- 2- Dans le condenseur, les vapeurs du réfrigérant cèdent leur chaleur par refroidissement au contact de l'air ambiant.
- 3- Les condensas du réfrigérant sont détendus pour accéder à la zone basse pression de l'installation.

- 4- Le réfrigérant à l'état liquide est dirigé dans l'évaporateur où il se vaporise instantanément en prélevant les calories du local à refroidir.
- 5- L'adsorbant du deuxième compartiment est refroidi au contact d'un circuit d'eau et maintient la basse pression. Le clapet C'2 est ouvert afin de permettre l'adsorption des vapeurs stockées dans l'évaporateur. Un nouveau cycle peut alors recommencer.
- 6- La fonction désorbeur-adsorbeur de chaque compartiment est permutée à chaque cycle par ouverture et fermeture des clapets C1 C'2 et C'1 C2. [18]

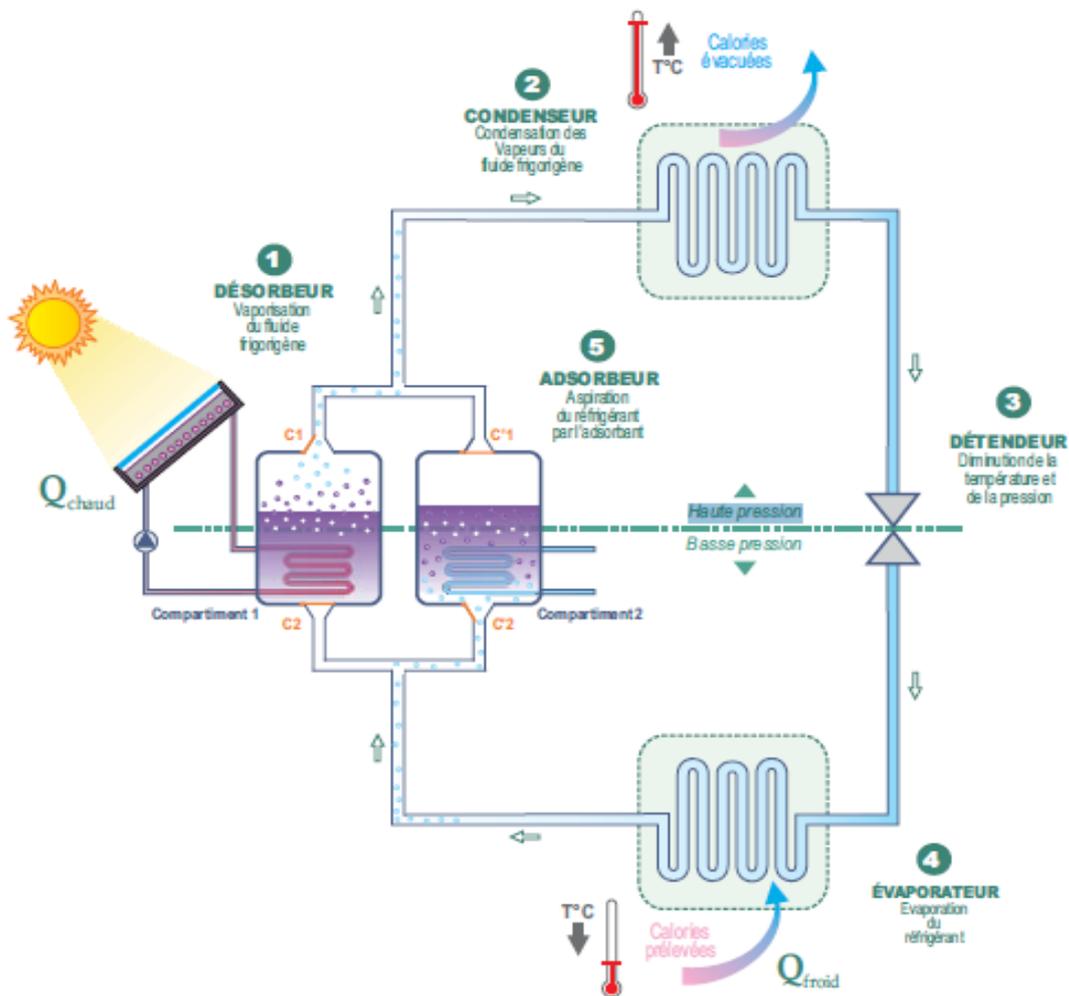


Figure 3. 3 schéma représente un système de climatisation par adsorption

Discussion :

D'après ce qu'on a vu dans les chapitres précédents, on peut conclure que l'Algérie possède un potentiel solaire élevé depuis toujours surtout dans les régions sahariennes, cet avantage doit être exploité pour comme une opportunité et un levier de développement économique et social. Cette énergie renouvelable présente à l'heure actuelle une réponse aux problèmes environnementaux et à la crise de l'énergie.

L'augmentation des exigences de confort des personnes et aussi l'architecture des bâtiments qui consiste à augmenter les surfaces vitrées sont la raison de l'augmentation de la consommation de l'énergie due à la climatisation. Le besoin de froid coïncide avec les périodes de grand ensoleillement d'où la nécessité de combiner la climatisation avec l'énergie solaire.

Ce genre de climatisation est conseillé pour les bâtiments administratifs : écoles, instituts, universités et hôpitaux qui sont plus occupés pendant la journée et qui ont une grande consommation d'énergie car l'investissement dans cette technologie peut être coûteux mais sa longue durée de vie peut couvrir le coût.

La climatisation par adsorption peut être compétitive dans les grands systèmes de climatisation. Mais pour les systèmes de petite ou moyenne taille, elle a tendance à être trop encombrante et coûteuse.

Dans le chapitre suivant, on va faire une comparaison technico-économique entre deux systèmes de climatisation solaire pour voir le système plus adapté et qui produit plus d'énergie.

Chapitre 04 :

Simulation des systèmes de
climatisation.

Chapitre 04 : simulation des systèmes de climatisation.

1. Introduction :

La climatisation de la plupart des bâtiments est assurée par des machines frigorifiques à compression, ce qui va clairement à l'opposé d'objectifs d'économie d'énergie et de protection de l'environnement. Nous proposons l'étude d'une installation de climatisation solaire : couplage capteurs solaires thermiques et machine frigorifique à absorption.

La simulation d'un système de rafraîchissement solaire nécessite l'intégration de nombreux composants de type thermique, solaire ou encore thermodynamique. Le plus intéressant est la suppression de la mise en place de prototypes et de supports expérimentaux de testes coûteux.

Dans ce chapitre, on va étudier une simulation dynamique d'un système de rafraîchissement solaire intégrée à une maison, cette simulation sert à trouver des solutions économiques tenant compte de la hausse des prix et l'épuisement des énergies fossiles et pour cela on a deux installation de climatisation solaire, la première est une machine à absorption couplée avec un capteur solaire sous vide et la deuxième est un système à compression de vapeur couplé avec des panneau photovoltaïque.

2. TRNSYS :

TRNSYS est un logiciel développé par le laboratoire « solarenergy » de l'université de WISCONSIN Madison. C'est un outil de simulation en régime dynamique multi zones, structuré de manière modulaire, ce qui assure au programme une grande flexibilité et facilité par l'insertion des sous-programmes.

Ce logiciel permet d'intégrer toutes les caractéristiques du bâtiment (emplacement, matériaux de construction utilisés, architecture globale...) afin de déterminer la consommation en énergie, le confort thermique, l'hygrométrie,...mais aussi des systèmes de chauffage / climatisation afin de réaliser des simulations thermiques dynamiques. Ce programme est basé sur une approche modulaire qui permet de décomposer un problème complexe en sous problèmes plus simples.

Ce logiciel informatique, se caractérise par ses trois fonctions qui se résument comme suit :

- ✓ Les entrées (inputs):Elles concernent toutes les informations à introduire et à stocker selon l'ergonomie du logiciel dans des bibliothèques que le concepteur peut utiliser. Ces entrées englobent l'environnement physique (climat, site), le bâtiment (l'enveloppe), les apports internes (occupants...) et les équipements « ventilation, chauffage, climatisation...)
- ✓ Le traitement des données : se fait en fonction d'un modèle de représentation du bâtiment et la demande de l'utilisateur.
- ✓ Les sorties (outputs): sont les ensembles des résultats qui peuvent être fournis par le logiciel à l'issue d'une exécution.

3. Les avantages du logiciel TRNSYS :

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. Une vaste documentation sur les sous-programmes y compris des explications, les usages usuels et les équations de base.

Une définition très souple de la période de simulation : choix du pas de temps, du début et de la fin de la simulation.

4. Présentation et caractéristique de la maison :

Dans notre étude, on a choisi une maison qui se compose d'un seul niveau de 80m² pour un volume de 240 m³, cette maison se trouve à Tlemcen située au nord-ouest de l'Algérie.

Tableau 4. 1 le volume et la capacité de chaque zone de la maison

Les zones	Volume m ³	Capacité kJ/kg
Zone A (chambre)	36	43.2
Zone B (garage)	36	43.2
Zone C (W.C)	3	3.6
Zone D (s.d.b)	24	28.8
Zone E (hall)	36	43.2
Zone F (cuisine)	45	54
Zone G (séjour)	45	54

Cette maison contient 7 zones et les murs qui construisent ses zones ont ses propres matériaux de construction.

5. Simulation d'un système à absorption :

La figure ci-dessous présente l'installation de la climatisation solaire thermique dans le logiciel TRNSYS simulation studio.

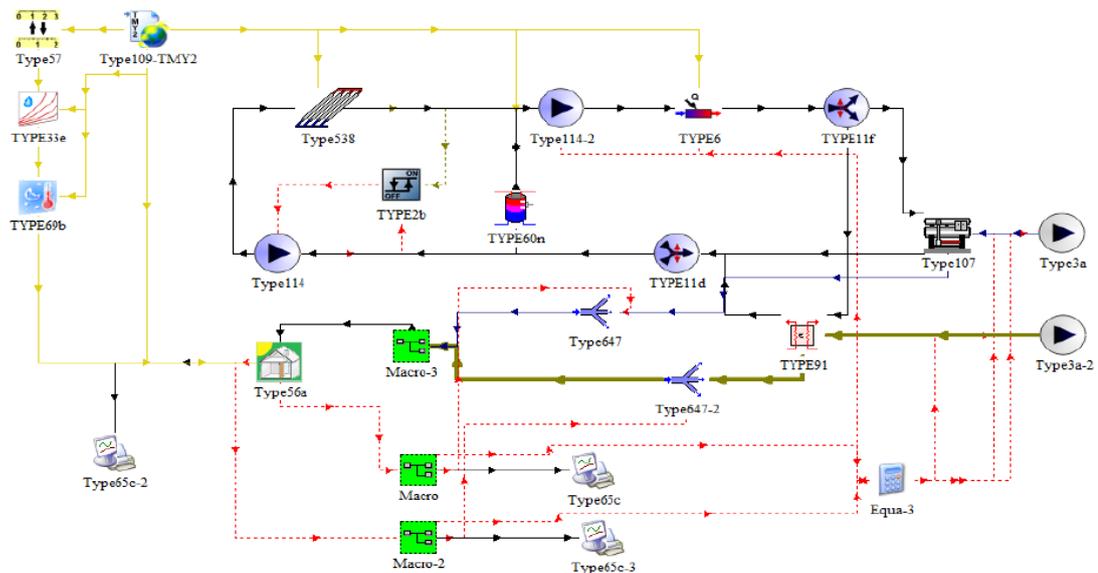


Figure 4. 1 les composant de l'installation thermique

Cette figure nous montre le principe de fonctionnement du système thermique qui consiste à collecter l'énergie solaire grâce à des capteurs thermiques sous vide. Cette énergie est ensuite stockée dans un ballon de stockage et puis pompée à l'aide d'une pompe vers la machine à absorption passant par un chauffage auxiliaire qui permet d'ajouter la chaleur au fluide pendant le fonctionnement de cet appareil. Finalement, la machine à absorption produit l'eau glacée nécessaire pour la climatisation de la maison.

Tableau 4. 2 les types de TRNSYS

Types	Nom de composant
Type 109	Conditions météorologiques
Type 538	Capteur à tube sous vide
Type 107	Machine à absorption à simple effet
Type 647	Vanne de déviation
Type 60n	Ballon de stockage
Type 3a	Fan sans effet de l'humidité
Type 2b	Régulateur
Type 114	Pompe à vitesse constante
Type 11f	Déviateur
Types 91	Echangeur de chaleur à efficacité constante
Type 6	Chauffage auxiliaire
Type 56a	Bâtiment multizone

6. Résultats et interprétations de système thermique :

A l'aide de ce logiciel, on a fait une simulation et les résultats obtenus sont représentés dans le tableau qui donne la variation de l'énergie du capteur et le dernier l'énergie auxiliaire pendant une année.

6.1. La variation de l'énergie du capteur et l'énergie auxiliaire :

Figure 4. 3 La variation de l'énergie du capteur et l'énergie auxiliaire

<i>mois</i>	<i>capteur solaire</i>	<i>énergie auxiliaire</i>
<i>jan</i>	1,90E+05	1,44E+05
<i>fév</i>	1,05E+05	1,13E+05
<i>mar</i>	1,57E+05	6,90E+04
<i>avr</i>	1,16E+05	3,65E+04
<i>mai</i>	1,61E+05	1,33E+05
<i>juin</i>	9,99E+04	1,03E+05
<i>juil</i>	1,40E+05	1,44E+05
<i>aout</i>	1,61E+05	1,33E+05
<i>sept</i>	1,54E+05	6,65E+04
<i>oct</i>	1,92E+05	2,56E+04
<i>nov</i>	1,16E+05	8,80E+04
<i>dec</i>	7,84E+04	1,50E+05

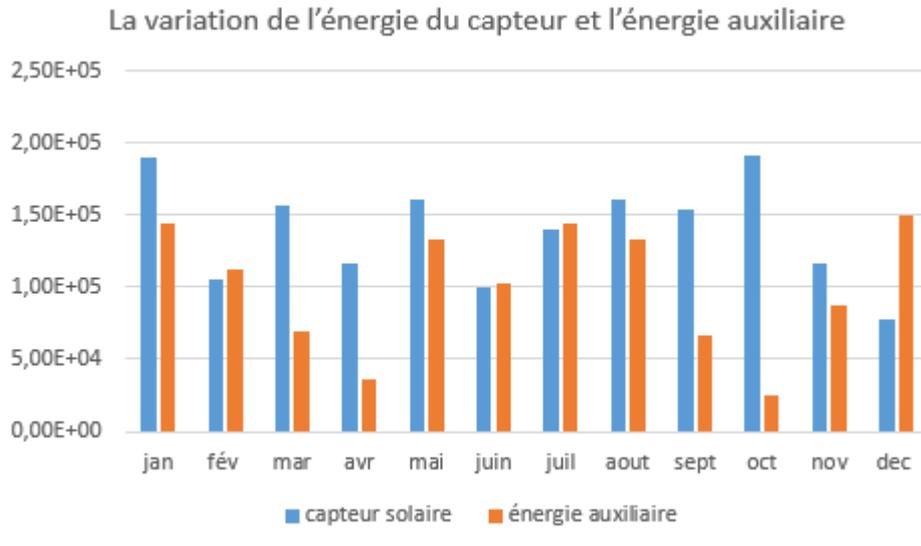


Figure 4. 2 graphe de la variation de l'énergie du capteur et l'énergie auxiliaire

La figure montre la variation annuelle de l'énergie fournie par le capteur et l'énergie auxiliaire. L'énergie du capteur est plus importante pendant la saison chaude du fait qu'on a un bon ensoleillement et donc une diminution de l'énergie auxiliaire. Par contre pendant les mois de décembre et janvier l'appoint auxiliaire devient plus important à cause des besoins en chauffage. Ce constat est le même pour les mois de juin et juillet à cause des besoins importants en rafraichissement.

7. Simulation d'un système photovoltaïque :

La figure ci-dessous présente l'installation de la climatisation photovoltaïque dans le logiciel TRNSYS simulation studio. Cette figure présente la production du froid à partir d'un système de climatisation classique qui utilise des capteurs photovoltaïques de 'type 94a' lié avec une batterie de stockage de 'type47a' où la lumière transformée en énergie électrique qui alimente la machine à compression de vapeur 'type62' qui produit le froid nécessaire, ce système a nécessité de la continuité de fonctionnement et pour cela on utilise un chauffage auxiliaire 'type6' afin de produire du froid des ventilateurs de 'type3a' qui assurent le rafraîchissement de la maison 'type56a'.

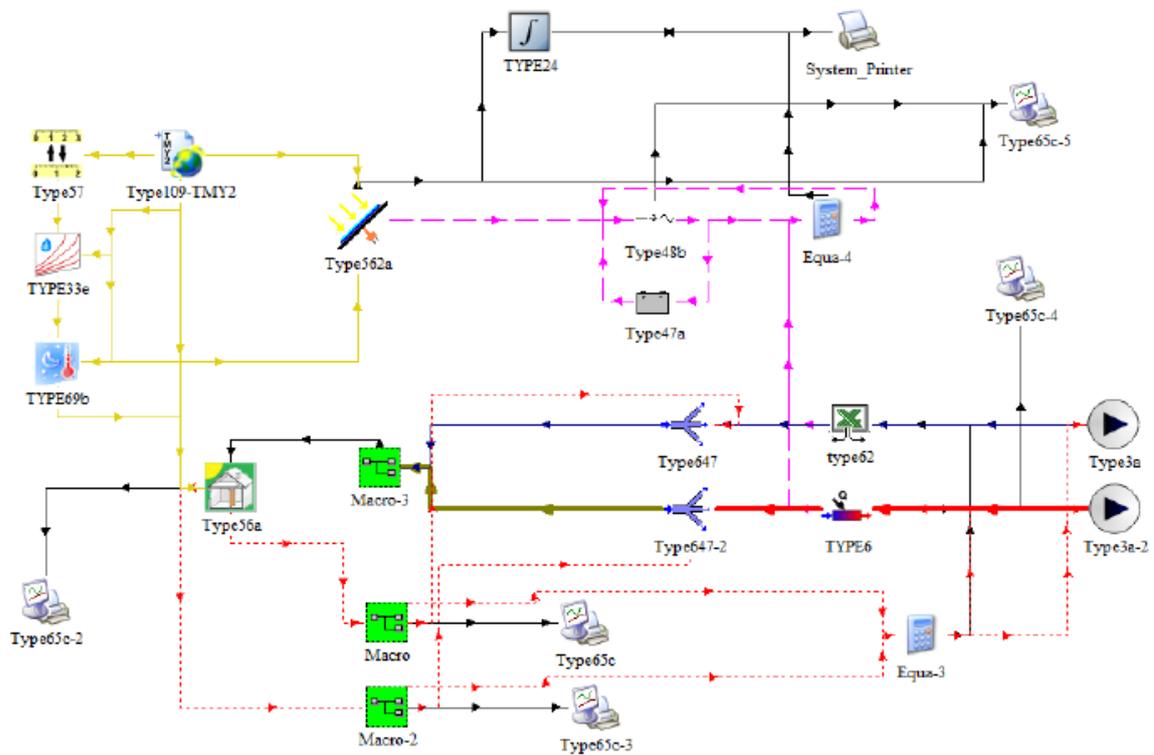


Figure 4. 3 les composants de l'installation photovoltaïque

Tableau 4. 4 les type de TRNSYS

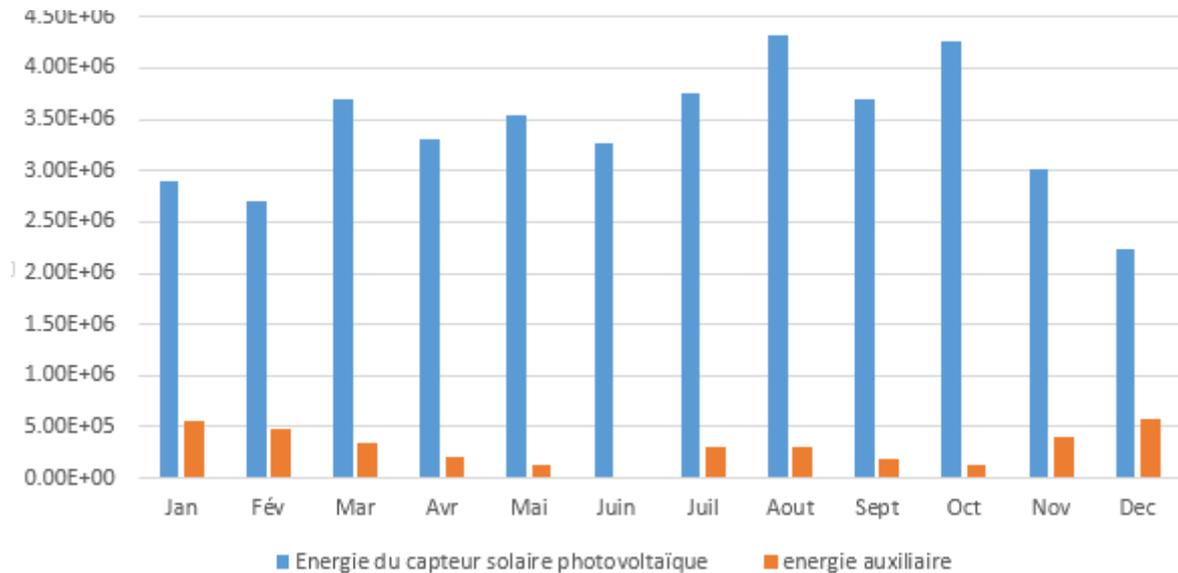
Type	Nom de composant
Type 109	Conditions météorologiques
Types 562a	Capteur photovoltaïque simple batterie
Type 47a	Vanne de déviation
Type 647	Programme externe
Type 62	Fan sans effet de l'humidité
Type 56a	Le comportement thermique d'un bâtiment

7.1.L'énergie du capteur photovoltaïques et l'énergie auxiliaire :

Tableau 4. 5 variation L'énergie du capteur photovoltaïques et l'énergie auxiliaire

Mois	Energie du capteur solaire photovoltaïque	Energie auxiliaire
Jan	2,89E+04	5,66E+05
Fév	2,71E+04	4,79E+05
Mar	3,70E+04	3,33E+05
Avr	3,31E+04	1,99E+05
Mai	3,54E+04	1,28E+05
Juin	3,27E+04	2,18E+0
Juil	3,76E+04	3,05E+05
Aout	4,32E+04	2,99E+05
Sept	3,69E+04	1,84E+05
Oct	4,26E+04	1,20E+05
Nov	3,01E+04	3,94E+05
Dec	2,24E+04	5,71E+05

Figure 4. 4 histogramme de variation de l'énergie du capteur photovoltaïques et l'énergie auxiliaire



La figure ci-dessus illustre une comparaison entre l'énergie reçue par le champ de capteurs photovoltaïques et l'énergie auxiliaire dépensée pour l'entraînement du système de climatisation. La contribution de l'énergie reçue par le champ de capteurs reste faible devant celle de l'auxiliaire et ce pratiquement pendant toute l'année. Il est à noter que cette contribution devient plus importante lorsqu'il s'agit du chauffage.

8. *Comparaison technico-économique entre le système thermique et le système photovoltaïque :*

8.1.L'énergie captée par un capteur thermique et celle par un capteur photovoltaïque :

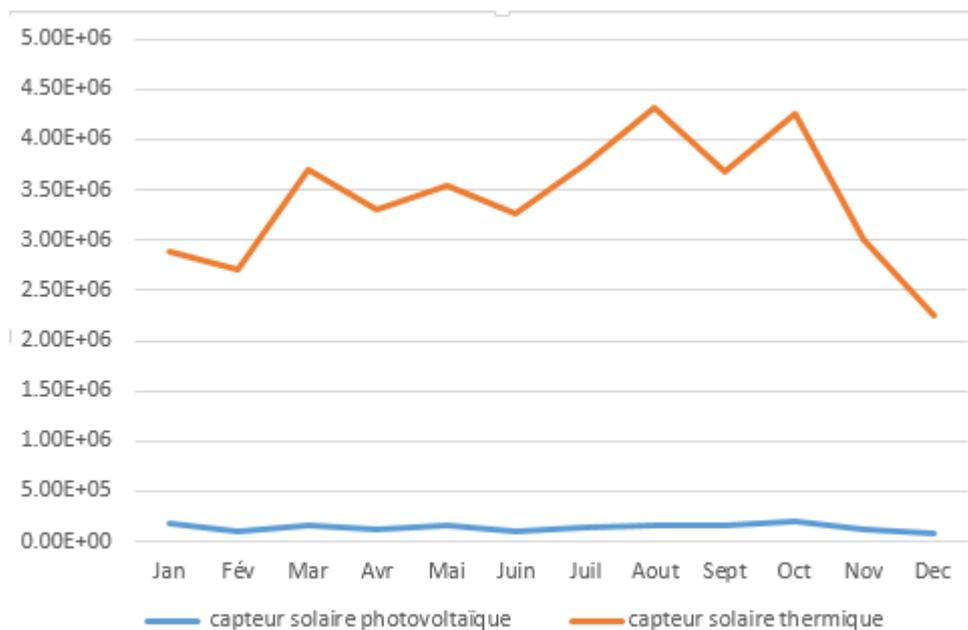


Figure 4. 5 graphe représente une comparaison entre l'énergie captée par un capteur thermique et un capteur photovoltaïque

La figure ci-dessus illustre une comparaison entre l'énergie captée par un champ de capteurs photovoltaïques et un autre thermique pour une surface de captation de 60 m². A cause des rendements des capteurs solaires thermiques (toutes technologies confondues) qui sont meilleurs par rapport aux rendements des capteurs photovoltaïques, l'énergie réalisée est en conséquence meilleure pour les systèmes thermiques que pour les systèmes photovoltaïques.

9.1.L'énergie auxiliaire du système thermique et photovoltaïque

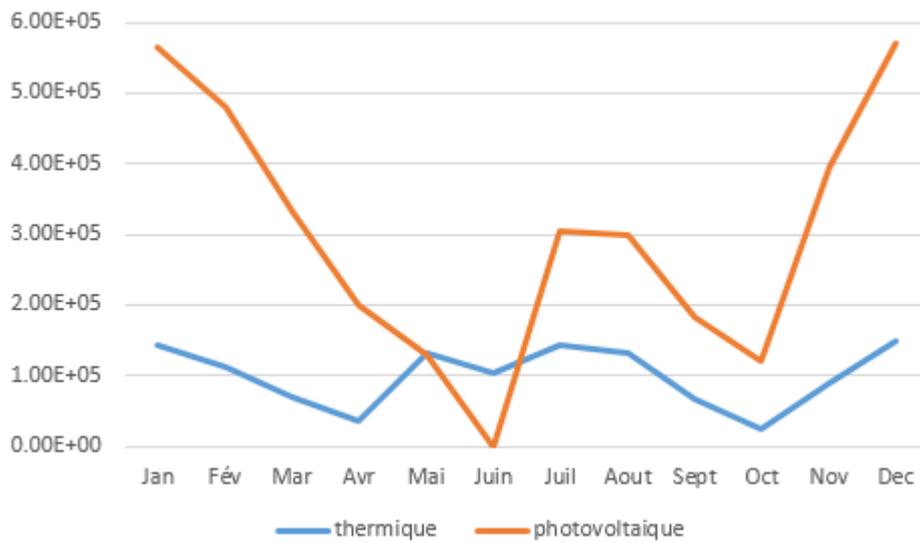


Figure 4. 6 graphe représente une comparaison entre l'énergie auxiliaire thermique et photovoltaïque pendant une année

L'énergie auxiliaire du système thermique travaille presque en parallèle avec l'énergie du capteur thermique. Par contre, il y a un grand écart entre l'énergie auxiliaire du capteur photovoltaïque et celle du capteur thermique. Cet écart atteint des valeurs maximales pendant la saison froide suite aux besoins en matière de chauffage. Ces besoins sont satisfaits en dépit d'un appoint considérable pour une utilisation photovoltaïque. Cette figure montre aussi que dans le cadre de la climatisation solaire les systèmes thermiques sont de loin les plus adaptés.

Discussion :

Une étude comparative des performances de deux installations solaires de climatisation a été présentée. La première utilise des capteurs photovoltaïques et un stockage électrique tandis que la deuxième utilise des capteurs solaires thermiques sous vide. La discussion des résultats montre que :

- La contribution de l'énergie reçue par le champ de capteurs photovoltaïques reste faible devant celle de l'énergie d'appoint et ce pratiquement pendant toute l'année. Il est à noter que cette contribution reste importante en cas de rafraîchissement que dans le cas de chauffage.
- L'énergie consommée dans le système à compression mécanique couplé avec le capteur photovoltaïque est très importante par rapport au système à absorption couplé avec le capteur thermique pendant la saison chaude. Cette différence résulte du fait que les systèmes mécaniques sont énergétivores en matière de consommation.
- L'énergie produite par le champ de capteurs thermiques excède de loin l'énergie fournie par le champ de capteurs photovoltaïques, donc le rendement de l'installation de climatisation couplée aux capteurs photovoltaïques reste faible à celui d'une installation thermique du fait de la présence du compresseur mécanique.

Conclusion générale :

La réfrigération solaire permet d'économiser certainement une quantité substantielle de la consommation d'énergie primaire. Cela réduit la production de dioxyde de carbone et les pics de consommation d'électricité en été, qui est un avantage important pour l'environnement et l'économie nationale. Mais quand il s'agit de bénéfice financier, la situation n'est pas aussi encourageante.

L'implantation d'un système de réfrigération solaire exige un bon planning, une assistance habile et un système de surveillance, à l'encontre des systèmes conventionnels faciles à implanter, ce qui fait sa cherté. Surtout, le coût des capteurs solaires ou des panneaux pourrait submerger le budget du projet tout entier. Par conséquent, un système de climatisation solaire se doit de fournir assez de profit afin de justifier tous les efforts supplémentaires et les investissements.

Les résultats de cette comparaison montrent que l'énergie produite par le champ de capteurs thermiques dépasse de loin l'énergie fournie par le champ de capteurs photovoltaïques. En ce qui concerne les perspectives futures, pour généraliser l'utilisation de cette technologie, le gouvernement doit instaurer des lois incitatives et qui obligent les promoteurs immobiliers, les administrations publiques et privées à inclure obligatoirement dans les réalisations immobilières futures des installations de climatisation utilisant le solaire comme source d'énergie surtout dans le grand sud où l'ensoleillement est très important ainsi que la chaleur. Il est du devoir des pouvoirs publics de sensibiliser et de vulgariser et de justifier l'utilisation de cette technologie pour une prise de conscience de l'importance de passer vers le solaire, et favoriser les projets de fabrication de panneaux solaires et capteurs thermiques pour réduire les coûts des installations.

Références bibliographiques

- [1] : ATMANI Hanane, la stratégie d'implantation des énergies renouvelables en Algérie, mémoire de magister en management, Oran, université de Mohamed ben Ahmed, 2015.
- [2] : Direction des énergies nouvelles et renouvelables, guide des énergies renouvelables, 2007.
- [3] : Said Bentouba, université africaine Ahmed Draya, Adrar, Algérie, journal scientific research, 2010.
- [4] : El Amir Kouadri Boudjelthia, énergies renouvelables : un moteur principal de développement durable en Algérie <http://www.cder.dz>
- [5] : Z. OUMEHDHI, développement de l'énergie renouvelable : le privé algérien et étranger sollicite, article, 2016. Site internet : Algérie Eco
- [6] : El Watan, investissement dans les énergies renouvelables : le secteur privé réticent, article, 2016. Site internet : portail Algérien des énergies renouvelables.
- [7] : Said Noureddine, potentiel EnR de l'Algérie, Alger. Site internet : www.CDER.com
- [8] : Nouveau programme national de développement des énergies renouvelables.
Site internet : portail Algérien des énergies renouvelables.
- [9] : P. Viel, la climatisation solaire, commission fédérale technique et prospective, 2015.
- [10] : Sahraoui Khenis, simulation des cycles de machines frigorifiques à absorption, université Ibn Khaldoun Tiaret, magister, 2007.
- [11] : Oliver Drucke, l'énergie solaire thermique pour application de froid et de chaleur industrielle, Belgique.
- [12] : Rachide Boughriet, climatisation solaire : une technologie prometteuse, 2010 ; site internet : Actu Environnement.
- [13] : Francis Meunier, Daniel Mugnier, la climatisation solaire : thermique ou photovoltaïque, Dunod, 2013.
- [14] : comment climatiser avec l'énergie solaire thermique, 2014. Site internet : reparateurs.fr.
- [15] : tout sur climatisation solaire. Site internet : travaux.pro.

- [16] : Manel Ait Mekdiche, énergies renouvelables, 2011.
- [17] : Mohamed Zaroug, étude de faisabilité du solaire thermique à destination des entreprises, 2014. Site internet : [Atiane energy](#).
- [18] : Romnald Jobert, climatisation solaire contexte et principe de fonctionnement, centre d'étude technique et de l'équipement, Lyon, 2007.
- [19] : Chiekh Ahmed Tidiane, étude comparative de différents systèmes de climatisation en zone tropicale, projet de fin d'étude, école polytechnique de Thies, 1999.
- [20] : Zouak Belkacem, mémoire de magister, université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2012.
- [21] : la climatisation solaire. Site internet : [Arer](#).
- [22] : la climatisation solaire par absorption. Site internet : [le panneau solaire.net](#).
- [23] : la climatisation solaire par adsorption. Site internet : [le panneau solaire.net](#).
- [25] : les systèmes ouverts : dessiccation / évaporation, 2009. Site internet : [Actu Environnement](#).