

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR UNIVERSITY OF ANNABA
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار عنابة

Année : 2013

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

INTITULE

Etude par simulations avec "*RETScreen*" d'un
système de captage solaire à conversion thermique

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : ENERGETIQUE ET ENVIRONNEMENT

PRESENTE PAR : GUECHI NADIR

DIRECTEUR DU MEMOIRE : Pr H. MZAD

DEVANT LE JURY

PRESIDENT :	H. MZAD	(Pr)	Université Badji Mokhtar - Annaba
EXAMINATEURS :	F. MECHIGHEL	(MC)	Université Badji Mokhtar - Annaba
	A. DJEMILI	(MC)	Université Badji Mokhtar - Annaba
	S. AZZOUZ	(MC)	Université Badji Mokhtar - Annaba
	R. ADJABI	(MC)	Université Badji Mokhtar - Annaba

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A ceux qui représentent le symbole du courage et des sacrifices, ceux qui m'ont illuminé le chemin du savoir, mon père et ma mère que Dieu me les protège, et qu'ils trouvent ici une modeste contribution de ma part par rapport à tout ce qu'ils m'ont offert.

A mon équipe de travail, qui n'ont pas hésité à prendre de leurs temps pour me soutenir dans ce travail.

A ma chère grand-mère, à qui je souhaite longue vie et que dieu la garde pour toute la famille.

Mon défunt grand père dont j'aurais souhaité qu'il soit présent parmi nous, que dieu l'accueille dans son vaste paradis.

A tout les orphelins de l'Association Dar Mostafa Likafalt Al-Yateem

A tout mes amis et collègues de la promotion.

A tout ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité

Nadir Guechi

Remerciements

Un grand merci au bon Dieu de m'avoir guidé vers le bon chemin de la lumière et du savoir.

J'adresse mes vifs remerciements à mon encadreur **Pr H. Mzad** (Professeur à l'UBMA), pour leur suivi, leur assistance et leurs conseils précieux le long de ma formation. Leur compétences ainsi que leur expériences dans le domaine m'ont été d'une grande utilité.

Avec un profond respect, je remercie **Mr. F.Mechighel** (Maitre de conférences à l'UBMA), qui a été pour nous les étudiants un juste et sincère exemple de travail et de persévérance.

Je remercie **Mr. A.Djemili** (Maitre de conférences à l'UBMA) pour avoir accepté de juger ce travail, qu'il trouve ici une marque d'estime et de respect de ma part.

Je remercie chaleureusement **Mr. S. Azzouz** (Maitre de conférences à l'UBMA), pour m'avoir honoré de sa présence et accepté de juger ce travail.

Je remercie également **Mr. R. Adjabi** (Maitre-assistant à l'UBMA) pour avoir accepté de juger ce travail et qui n'a cessé de m'encourager et me soutenir avec ses précieux conseils et suggestions. Qu'il trouve ici ma sincère reconnaissance.

Résumé

Ce mémoire porte sur l'étude de système solaire à conversion thermique qui peut être appliqué directement pour chauffer un bâtiment, ou un bloc de bureaux pour enseignants, ou indirectement comme la production de vapeur d'eau pour entraîner des alternateurs et ainsi obtenir une énergie électrique.

La mise en équation ainsi que la simulation du système globale a été effectuée, en utilisant le logiciel de simulation *RETScreen*, ainsi la présentation d'une méthode de dimensionnement de l'installation a clôturé ce travail.

RETScreen® International est un logiciel d'analyse de projets d'énergies renouvelables. Cet outil fournit une plateforme commune permettant à la fois l'aide à la décision et le renforcement des compétences. *RETScreen* peut être utilisé dans le monde entier pour évaluer la production énergétique, le coût du cycle de vie et la réduction des émissions de gaz à effet de serre pour différentes technologies d'énergies renouvelables.

Mots clés : système à conversion thermique, capteur solaire, eau chaude sanitaire (ECS), *RETScreen*.

Abstract

This project concerns the study of solar system with thermal conversion which can be directly applied to warm a building or a block of offices for teachers, or indirectly as the production of steam to pull alternators and so obtain an electrical energy.

The putting in equation as well as the global simulation of the system was made, by using the simulation software *RETScreen*, so the presentation of a method of sizing the installation enclosed this work.

RETScreen ® *International* is software of analysis the projects of renewable energies. This tool supplies a common platform allowing at the same time the decision-making support and the strengthening of the skills. *RETScreen* can be used all over the world to estimate the energy production, the cost of the life cycle and the reduction of greenhouse gas emissions for various technologies of renewable energies.

Keywords: System with thermal conversion, thermal sensor, domestic hot water (DHW) *RETScreen*.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE

PROBLEMATIQUE

CHAPITRE 1

Etat de l'art sur les énergies renouvelables en général, et du potentiel énergétique algérien en particulier, et le gisement solaire.

Introduction	5
I. Les différentes sources d'énergie renouvelables	5
II. Les tendances des énergies renouvelables à travers le monde	6
III. Gisement solaire et Repérage du soleil dans le ciel	7
a. Longitude	7
b. Latitude	8
c. Déclinaison Solaire	8
d. Angle Horaire	9
e. Hauteur Angulaire	9
f. Equation Du Temps	9
g. Azimut	10
h. Puissance Rayonnée	10
i. Influence d'inclinaison sur la quantité d'énergie captée	11
Conclusion	12

CHAPITRE 2

Les capteurs solaires à conversion thermique

I. Etude énergétique sur le capteur	13
II. Les capteurs statiques :	
1- Capteurs plans non vitrés	14
2- Capteurs plans vitrés	15
3- Capteurs sous vide	16
4- Capteurs plans vitrés ou sous vide avec miroir de Concentration parabolique	18
III. Les capteurs mobiles :	
1- Cylindre-parabolique (1 axe)	20
2- Capteur à lentille Fresnel	21
3- Parabole de révolution (2 axe)	22
IV. Transport et stockage de la chaleur	22
a) Fluides caloporteurs :	
a. L'eau	22
b. Huiles minérales	23
c. Huiles silicones	23
b) Stockage thermique :	
1- Accumulation par chaleur sensible	24
2- Accumulation par chaleur latente	25
3- Conclusion	26

CHAPITRE 3

Etude préalable à la réalisation d'une installation solaire à conversion thermique

Introduction	28
I. Principe de fonctionnement d'une installation Solaire thermique	30
II. Dimensionnement d'une installation solaire-thermique.....	31
II.1 Estimation des besoins en chauffage	31
II.2 Choix du type de capteur	32
II.3 L'étude d'implantation des capteurs	32
II.4 L'énergie récupérée par l'eau de stockage	35
II.5 Pertes dans la tuyauterie et le réservoir de stockage	36
II.6 L'énergie de pompage	36
III. Les différentes configurations de système de chauffage	36
IV. Analyse la rentabilité économique	38

CHAPITRE 4

Simulation d'un projet de chauffage solaire d'eau par le logiciel *RETScreen*

Introduction.....	41
I. Évaluation des besoins en eau chaude	41
I.1 Description de l'installation.....	41
I.2 Calcule manuel des bosion en eau chaude	42
II. Présentation de <i>RETScreen</i>	42
III. Simulation des différentes installations par <i>RETScreen</i>	
Cas de bureaux T=50°C	46
Cas d'une maison T= 65°C	47
Cas de l'industrie T= 80°C	48
IV. Interprétation des résultats	49
Conclusion	49

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

ANNEXES

BIBLIOGRAPHIE

Liste des figures

CHAPITRE 1

Figure I. 1 : La consommation mondiale de l'énergie pour l'année 2011

Figure I. 2 : Le mouvement de rotation de la terre

Figure I. 3 : La déclinaison δ , et l'angle horaire ω

Figure I. 4 : Utilisation de rayonnement solaire dans le capteur

Figure I. 5 : Puissance rayonnée pendant l'année

CHAPITRE 2

Figure II. 1 : Capteur plan sans vitrage

Figure II. 2 : Capteur plan vitré

Figure II. 3 : Composants du capteur sous vide

Figure II. 4 : Principe de fonctionnement de capteur à tubes sous vide

Figure II. 5 : Deux capteurs avec un réflecteur

Figure II. 6 : Courbes caractéristiques des rendements de capteurs plans

Figure II. 7 : Capteurs cylindre-parabolique

Figure II. 8 : Schéma de principe de capteur de Fresnel

Figure II. 9 : Capteur parabolique de révolution

CHAPITRE 3

Figure III. 1 : Différents composants de système de chauffage solaire

Figure III. 2 : Raccordement en boucle

Figure III. 3 : Raccordement en série

Figure III. 4 : Raccordement en parallèle

Figure III. 5 : Système thermosiphon

Figure III. 6 : Système pompé à boucle direct

Figure III. 7 : Système pompé à boucle indirect

CHAPITRE 4

Figure IV. 1 : Interface du logiciel

Figure IV. 2 : Données climatiques pour le site d'Annaba –Algérie

Figure IV. 3 : Simulation pour le cas des bureaux

Figure IV. 4 : Simulation pour le cas de maison

Figure IV. 5 : Simulation pour le cas d'une industrie

Nomenclature

h	Hauteur	m
φ	Latitude	°
δ	Déclinaison solaire	°
ω	Angle horaire	°
a	azimut	°
H	hauteur angulaire	m
Q	Puissance absorbée	W
Q_U	Puissance utile	W
Q_C	Energie nécessaire pour le chauffage	W
Q_p	Energie de pompage	W
λ	Conductivité thermique	W/m.K
\dot{m}	Débit massique	kg/s
ρ	Masse volumique	kg/m ³
C_p	Chaleur spécifique	J/kg.K
ΔH	Variation d'enthalpie	J
V	Volume	m ³
T_S	Température de stockage	°C
T_{EC}	Température d'eau chaude	°C
T_{EF}	Température d'eau froide	°C

INTRODUCTION GENERALE

Aujourd'hui, plus que jamais, le monde fait face à d'innombrables problèmes d'énergie tel l'épuisement des énergies actuelles (fossiles et thermonucléaires), La dernière conférence internationale des énergies renouvelables IREC'2011 la formellement confirmé, les crises pétrolières et les conséquences que cela engendre tant aux pays développés qui s'enfoncent de plus en plus dans la crise économique qu'aux pays émergents. On cite aussi les problèmes du changement climatique conséquence directe de l'effet de serre dû à l'exploitation des énergies polluantes.

De ce fait, les recherches actuelles dans ce domaine se sont dirigées vers des énergies qui ont la faculté de se renouveler rapidement pour être considérées comme inépuisables à l'échelle humaine du temps. Les énergies renouvelables ou 'énergies propres' suscitent de plus en plus d'intérêt tant au niveau des laboratoires de recherche qu'au niveau du simple consommateur qui se soucie de plus en plus de la protection de l'environnement.

L'énergie solaire est considérée comme une pièce maitresse dans le domaine des énergies renouvelables grâce à leur rapidité de développement, ajoutés à cela, plusieurs autres facteurs notamment, leurs grande efficacité, la basse (ou zéro) émission des gaz polluants, et leurs structures flexibles.

Les nouvelles solutions technologiques, apportées par les systèmes de captage solaire, même si elles ne sont pas encore compétitives, offrent une sûreté élevée. Toutefois, à la vue de la nécessité du développement durable, ces solutions, avec l'appui de la volonté publique, peuvent être économiquement viables, à moyen et long terme.

Le sud algérien et plus particulièrement le site d'Adrar dispose d'un fort potentiel énergétique solaire ce qui plaide en faveur du développement des systèmes à sources d'énergies renouvelables dans ces régions. Il est alors nécessaire de connaître la contribution de la source solaire pour les déférentes applications, et tenant compte du facteur économique.

Dans la recherche de solutions à la maîtrise de l'énergie applicable au chauffage des eaux sanitaires, il nous parait intéressant de connaître les bénéfices d'une nouvelle technique de chauffage basée sur une des sources d'énergies renouvelables, à savoir l'énergie solaire.

Le cadre principalement étudié est celui de convertir l'énergie solaire en énergie thermique, ce qui permettra l'élimination de la consommation électrique très coûteuse au profit d'une consommation thermique moins chers. Certes, du point de vue économique les résultats apparaissent assez convaincants quant à la rentabilité du système ci-dessus désigné, mais cela n'exclut pas le fait que le système de captage solaire constitue un système assez complexe du point de vue technologique.

Ce travail est subdivisé en quatre chapitres :

- ❖ Le premier chapitre décrit l'état de l'art des énergies renouvelables en général, et du potentiel énergétique algérien en particulier, et le gisement solaire.
- ❖ Le deuxième chapitre s'intéresse à l'aspect caractéristique du système solaire thermique, une analyse technique des différents sous-systèmes qui le composent a été faite.
- ❖ Le troisième chapitre s'intéresse à l'étude préalable à la réalisation d'une installation de captage solaire pour la production d'eau chaude sanitaire.
- ❖ Le quatrième chapitre traite le coté énergétique du système, chaque élément du système est modélisé par une équation mathématique qui régit ces différents régimes de fonctionnement, puis le système globale est simulé sous le logiciel *RETScreen international*.

PROBLEMATIQUE

Essoufflement des ressources d'hydrocarbures, accroissement constant de la population, réchauffement climatique...

Les bâtiments représentent l'un des secteurs les plus consommateurs d'énergie dans les sociétés industrialisées. En Algérie environ 61% de l'énergie primaire est consommée par les bâtiments. Qu'ils soient à usage commercial, industriel ou privé, ils utilisent de l'énergie pour différentes applications comme le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, la climatisation, le séchage (R.Cheilan 2004).

Le caractère plus qu'incertain de l'avenir énergétique de la planète ne peut aujourd'hui laisser indifférent. La nécessité de trouver de nouvelles sources d'énergie devient primordiale dans un monde où la sécurité énergétique est devenue un problème crucial.

Dans ce contexte problématique, Grâce au soleil, d'énormes quantités d'énergies atteignent la surface de la terre. Avec une puissance moyenne d'environ 1367 W/m^2 , cette énergie solaire est 10 000 fois supérieure à la demande énergétique globale de la population et ce pour les 5 milliards d'années à venir (A.Beckman et al. 1980).

L'idée d'utilisation d'un système solaire à conversion thermique sert à chauffer un liquide caloporteur. Ce liquide peut alors être utilisé en chauffage, ou soit dans production de vapeur pour entraîner la turbine pour créer l'énergie électrique.

Ce travail de recherche est destiné pour développer cette technologie d'avenir qui pourrait remplacer avantageusement les systèmes de chauffage traditionnels très énergivores.

CHAPITRE 1

Etat de l'art sur les énergies renouvelables en général, et du potentiel énergétique algérien en particulier, et le gisement solaire.

Introduction	5
I. Les différentes sources d'énergie renouvelables	5
II. Les tendances des énergies renouvelables à travers le monde	6
III. Gisement solaire et Repérage du soleil dans le ciel	7
1. Longitude	7
2. Latitude	8
3. Déclinaison Solaire	8
4. Angle Horaire	9
5. Hauteur Angulaire	9
6. Equation Du Temps	9
7. Azimut	10
8. Puissance Rayonnée	10
9. Influence d'inclinaison sur la quantité d'énergie captée	11
Conclusion	12

INTRODUCTION :

De nos jours, l'utilisation rationnelle des ressources énergétiques est placée au centre de nos préoccupations. Le recours aux sources d'énergies renouvelables comme l'énergie solaire, le vent, la géothermie sont des alternatives très intéressantes pour répondre à nos besoins énergétiques.

L'utilisation de l'énergie solaire dans les pays ensoleillés est un moyen efficace pour pallier au manque d'énergie surtout dans les zones rurales où il est parfois difficile et coûteux de les alimenter avec le réseau électrique conventionnel.

Les recherches dans le domaine de l'énergie solaire sont motivées par les besoins de climatisation pour le confort thermique dans les bâtiments.

La croissance de cette demande, en particulier dans les régions chaudes imposent de s'orienter vers de nouvelles solutions.

L'énergie solaire constitue donc une alternative aux énergies fossiles à plusieurs titres :

- Elle est généralement moins perturbatrice de l'environnement, elle n'émet pas de gaz à effet de serre et ne produit pas de déchets ;
- Elle est infini et autorise une production décentralisée adaptée à la fois aux ressources et aux besoins locaux ;
- Elle offre une importante indépendance énergétique.

I. Les différentes sources d'énergie renouvelables:

I.1 Énergie éolienne :

Energie produite à partir de la force du vent sur les pales d'une éolienne. Lorsque le vent se met à souffler, les forces qui s'appliquent sur les pales des hélices induisent la mise en rotation du rotor. L'énergie électrique ainsi produite peut être distribuée sur le réseau électrique grâce à un transformateur. Aujourd'hui la puissance fournie par les turbines varie d'environ 600 kW à 5 MW (O.Gergaud 2001)

I.2 Énergie solaire :

L'exploitation de l'énergie solaire doit ses origines à l'astronome britannique John Herschel qui a utilisé une boîte de capteur solaire thermique pour cuire les aliments au cours d'une expédition en Afrique.

L'énergie solaire peut être utilisée de deux manières principales. Tout d'abord, la conversion du rayonnement solaire incident en énergie électrique. Ou une autre alternative est, qui est la forme la plus utile de l'énergie. La chaleur captée peut être utilisée comme énergie thermique, avec des applications dans le chauffage des locaux. Ceci peut être réalisé avec l'aide de capteurs solaires thermiques.

I.3 Energie hydraulique :

L'électricité fournie par l'énergie hydraulique représente environ 5% de l'électricité totale produite en l'Algérie. Les centrales hydrauliques convertissent l'énergie des cours d'eau, des chutes d'eau et constituent une source d'énergie inépuisable et relativement propre. [i.1]

I.4 Biomasse :

L'énergie de la biomasse est produite par combustion directe de l'ensemble de la végétation comme le bois par exemple ou par conversion en biocarburants.

II. Les tendances des énergies renouvelables à travers le monde :

La tendance actuelle chez les grandes puissances économiques du monde fait pencher la balance en faveur des énergies renouvelables. Pour les trois dernières années, l'Amérique du Nord et l'Europe adoptent de plus en plus l'énergie renouvelable au détriment de l'énergie conventionnelle. Les énergies renouvelables ont représenté 60% de la capacité de puissance nouvellement installée en Europe en 2010 et près de 12% de la puissance annuelle de production. [i.2], La figure I. 1 présente la production mondiale de l'énergie en 2010

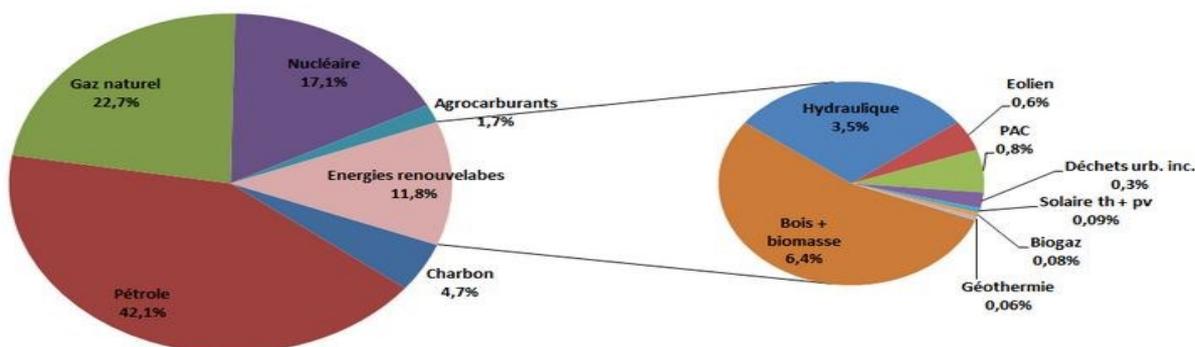


Figure I. 1 : La production mondiale de l'énergie pour l'année 2010

L'Algérie de par sa situation géographique, dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur le quasi total du territoire national dépasse les 3000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m^2 est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de $1700\text{kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ au Nord, et $2263\text{kWh}/\text{m}^2/\text{an}$ au Sud du pays, ce qui correspond à la quantité d'énergie contenue par 125 litres de fioul ou par 125m^3 de gaz naturel environ. (S.Diaf, Energies Renouvelables Vol.9 2006).

III. Gisement solaire et Repérage du soleil dans le ciel :

La hauteur du soleil est une donnée fondamentale pour au moins deux raisons:

- cette hauteur intervient explicitement dans les calculs d'apport énergétique.
- l'implantation dans un site donné demande une étude des ombres portées par l'environnement bâti ou naturel.

Il est donc simple de traduire au moyen d'abaques, la hauteur du soleil aux différents mois. C'est l'objectif de ce chapitre.

a. **Longitude** ψ :

Un point à la surface de la terre est repéré par deux coordonnées angulaires: la latitude ϕ et la longitude λ . C'est la mesure de l'angle entre le méridien du lieu et la méridienne origine des longitudes (Greenwich en Angleterre). Les lieux qui sont situés à l'Est sont comptés avec le signe +.

Le grand arc de cercle qui joint le pôle Nord, Greenwich et le pôle Sud s'appelle méridien origine. Il y a 23 méridiens séparés de 15° donnant naissance aux 24 fuseaux horaires. On a décidé de fixer la ligne de changement de date sur le méridien n° 12 au beau milieu du Pacifique.

Quand il est midi le jour J à Greenwich, il est minuit du même jour sur la bordure Ouest de la ligne de changement de date et minuit du jour J-1 sur sa bordure Est. Pour le comprendre, il suffit de déployer mentalement la projection cylindrique de la sphère terrestre.

b. Latitude φ :

La latitude φ permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque par rapport à l'équateur. Elle varie de 0° à l'équateur à 90° au pôle Nord.

c. La déclinaison solaire δ :

La déclinaison solaire δ est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Cet angle varie au cours des saisons. La Figure I. 2 en donne les valeurs remarquables.

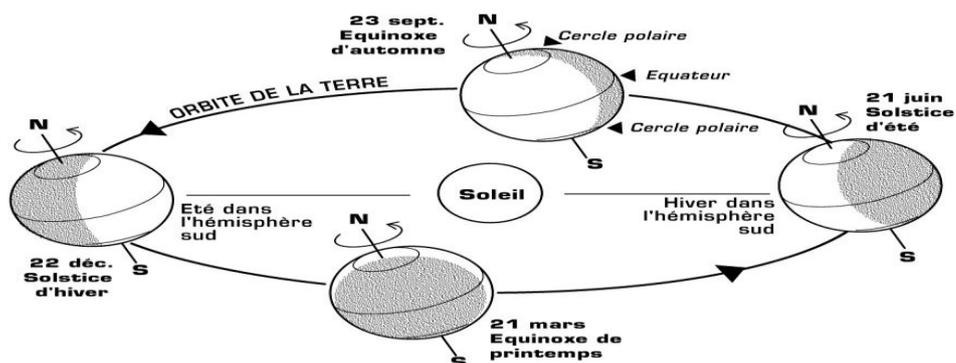


Figure I. 2 : le mouvement de rotation de la terre

Equinoxe de printemps : 21 Mars $\delta = 0$

Solstice d'été : 21 Juin $\delta = + 23^\circ 27'$

Equinoxe d'automne : 23 Septembre $\delta = 0$

Solstice d'hiver : 22 Décembre $\delta = - 23^\circ 27'$

Entre ces 4 points remarquables, δ prend toutes les valeurs intermédiaires qui peuvent se calculer par la relation :

$$\sin \delta = 0.4 \sin t \tag{I. 1}$$

Où
$$t = N. \frac{360}{365}$$

Avec N , nombre de jours écoulés depuis l'équinoxe de printemps.

Ou par la relation :

$$\delta = 360. \sin \left(23,45. \frac{n+284}{365} \right) \tag{I. 2}$$

Avec n nombre de jours écoulés depuis le 1er Janvier

d. Angle horaire ω :

L'angle horaire ω du soleil est déterminé par la rotation journalière de la terre autour de son axe. C'est la mesure de l'arc de trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu. Exprimé en ° d'angle, par la relation suivante :

$$\omega = \cos^{-1}(-\tan \varphi \cdot \tan \delta) \quad (I. 3)$$

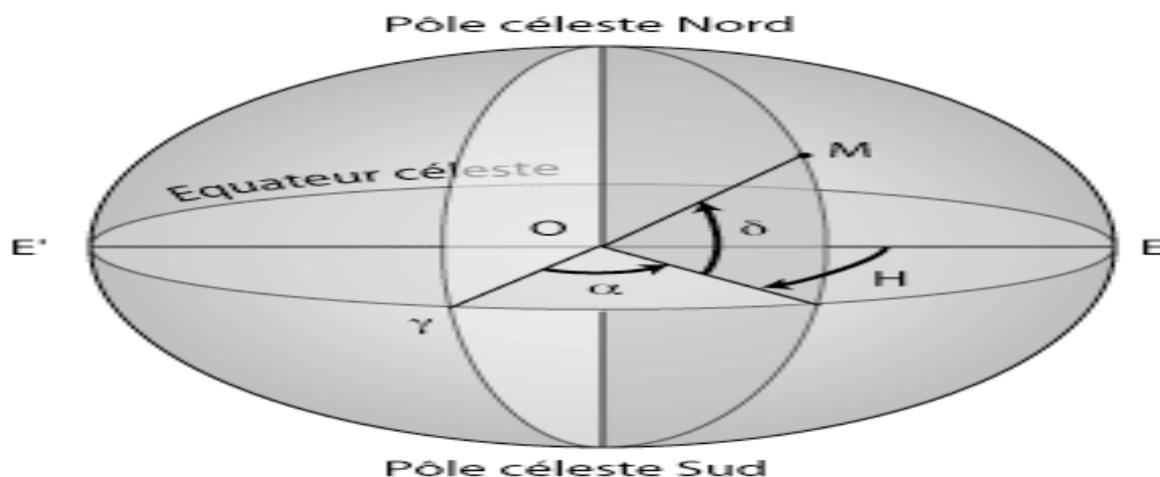


Figure I. 3 : La déclinaison δ , et l'angle horaire ω

e. Hauteur angulaire H :

C'est l'angle H formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil. Il est donné par la relation:

$$\sin H = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (I. 4)$$

f. Equation du temps :

La Terre a une variation saisonnière de sa vitesse orbitale qui affecte l'heure de passage du soleil au méridien. D'autre part, l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de l'écliptique introduit une oscillation supplémentaire de la durée du jour solaire.

Le mouvement de la Terre dissipant de l'énergie au détriment de son énergie cinétique, celle-ci ralentit, et des mesures précises ont constaté qu'entre 1900 et 1974, la Terre a accumulé 44 secondes de retard dans sa rotation annuelle, ce qui signifie que la durée du jour moyen augmente de 1,6 s par an. (Tricaud/Pac. Atlas énergétique du rayonnement solaire. 1999)

Cet écart Δt entre est désigné sous le terme d'équation du temps :

$$E = 450,68 \sin \left(2\pi \cdot \frac{n}{365} \cdot 0,026903 \right) + 595,40 \cdot \sin \left(4\pi \cdot \frac{n}{365} \cdot 0,3528 \right) \quad (I. 5)$$

g. Azimut a :

C'est l'angle a compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil. La connaissance de l'azimut est indispensable pour le calcul de l'angle d'incidence des rayons sur une surface non horizontale. L'angle d'azimut est compté positivement vers l'Ouest. L'azimut est relié à l'angle horaire, la hauteur et la déclinaison par la relation:

$$\sin a = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos H} \quad (\text{I. 6})$$

h. Puissance rayonnée :

Le rayonnement solaire est un flux d'énergie émis uniformément par le soleil dans toutes les directions, une puissance de 1,36 kW/m² est reçue par la terre en dehors de l'atmosphère. Cette valeur est appelée constante solaire. Au cours de sa traversée de l'atmosphère terrestre, le rayonnement solaire est affaibli par la réflexion, les diffusions multiples et l'absorption par les particules de poussière et les molécules de gaz.

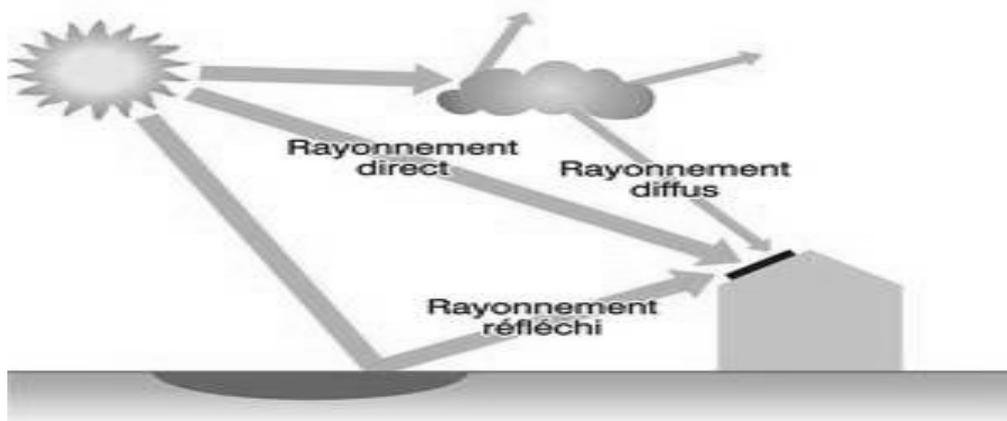


Figure I. 4 : Utilisation du rayonnement solaire dans le capteur

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 I.5) est appelée rayonnement global.

Les capteurs solaires sont, selon le modèle et le dimensionnement de l'installation, en mesure d'utiliser jusqu'à 75 % environ du rayonnement global.

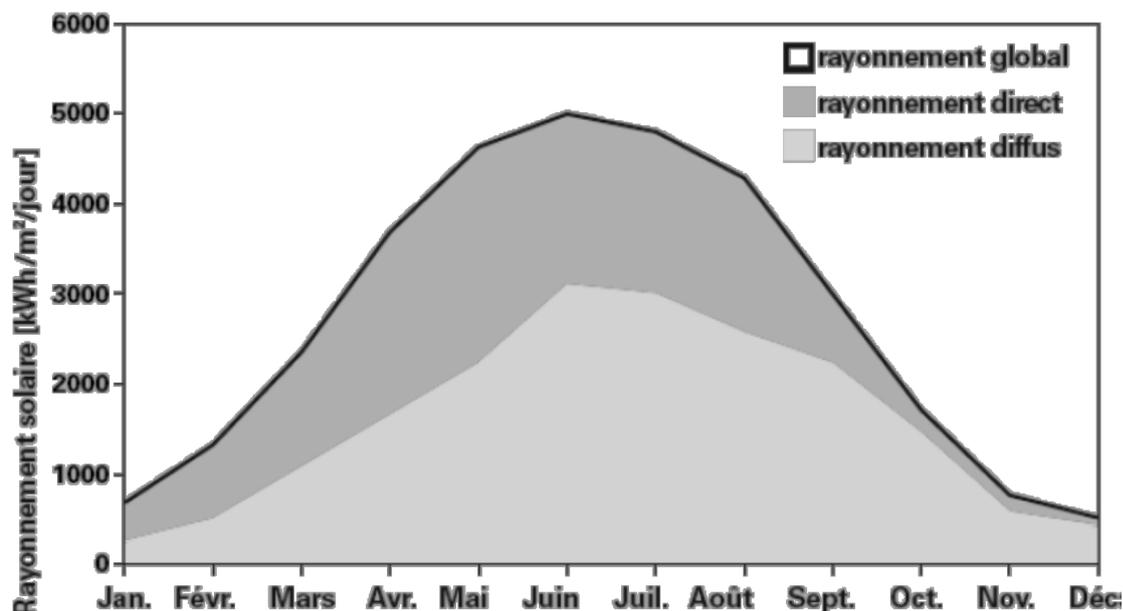


Figure I. 5 : La puissance rayonnée pendant l'année

i. Influence de l'inclinaison sur la quantité d'énergie captée :

L'orientation sud et une inclinaison de 30 à 45° environ par rapport à l'horizontale assurent les meilleurs rendements pour une installation solaire à nos latitudes. Mais même avec des écarts importants (orientation sud-ouest à sud-est, inclinaison de 25 à 70°), une installation solaire reste rentable. Une inclinaison plus faible est conseillée si les capteurs ne peuvent pas être orientés vers le sud.

Des capteurs solaires inclinés à 30° et orientés à 45° sud-ouest présentent encore 95% de la puissance optimale, Et même en cas d'orientation est ou ouest, il est possible d'espérer encore 85 % si le toit est incliné de 25 à 40°.

Une inclinaison plus forte du capteur offre l'avantage d'une fourniture d'énergie lissée sur l'année.

Conclusion :

L'exploitation des potentiels énergétiques solaire pour la production de la chaleur s'avèrent être rentable dans les régions isolées dans l'Algérie où l'extension du réseau électrique conventionnel serait une contrainte financière. A cet effet, le système de captage solaire serait destiné à produire une chaleur à usage domestique et pouvoir satisfaire aux besoins avec une certaine garantie.

Pour les besoins du dimensionnement et la mise au point pratique d'un tel système, une étude analytique préalable de chaque partie est exigée, le chapitre suivant s'intéresse à l'aspect théorique du capteur thermique, ainsi que son principe de fonctionnement. Ajoutée à cela une analyse détaillée de la composition interne.

CHAPITRE 2

Les capteurs solaires à conversion thermique

I.	Etude énergétique sur le capteur	13
II.	Les capteurs statiques :	
	1- Capteurs plans non vitrés	14
	2- Capteurs plans vitrés	15
	3- Capteurs sous vide	16
	4- Capteurs plans vitrés ou sous vide avec miroir de concentration parabolique	18
III.	Les capteurs mobiles :	
	1- Cylindre-parabolique (1 axe)	20
	2- Capteur à lentille Fresnel	21
	3- Parabole de révolution (2 axe)	22
IV.	Transport et stockage de la chaleur	22
	a) Fluides caloporteurs :	
	1- L'eau	22
	2- Huiles minérales	23
	3- Huiles silicones	23
	b) Stockage thermique :	
	1- Accumulation par chaleur sensible	24
	2- Accumulation par chaleur latente	25
	3- Conclusion	26

I Etude énergétique sur le capteur

Bilan thermique d'un capteur :

La puissance utile Q_U est celle qui permet de réchauffer le débit de fluide caloporteur \dot{m} de la température d'entrée T_{EF} jusqu'à la température de sortie T_{EC}

$$Q_U = \dot{m}C_p(T_{EC} - T_{EF})$$

L'énergie solaire Q absorbée par un capteur. Une partie de l'énergie solaire absorbée sera emmagasinée dans le fluide caloporteur; c'est l'énergie utile Q_U . et l'autre partie de l'énergie absorbée est transférée vers l'environnement sous forme d'énergie thermique principalement par convection et rayonnement. Ces pertes thermiques seront notées Q_{pertes} . On a donc :

$$Q = Q_U + Q_{pertes} \quad (\text{II. 1})$$

II Les capteurs statiques :

Les capteurs solaires plans, sont conçus pour la conversion de l'énergie solaire par voie thermodynamique ou bien une conversion thermique.

Il existe quatre types de capteurs solaires statiques :

II.1 Capteurs plans non vitrés :

Il s'agit de la technologie la plus simple. Ces capteurs sont constitués d'une surface réceptrice qui absorbe le rayonnement solaire direct et diffus (appelé absorbeur) pour le transmettre au fluide caloporteur qui circule dans un réseau de tubes et directement en contact avec la surface absorbante.

Les capteurs plans sans vitrage se présentent généralement sous forme d'une moquette de tubes noirs (Figure II. 1), en matière résistante aux ultraviolets et très facile à mettre en place.

Ils sont utilisés pour chauffer les piscines à un niveau de température de l'ordre de 30°C pour un faible coût ou encore pour produire de l'eau chaude sanitaire dans les pays très chauds et ensoleillés. Les applications de ce type de capteurs sont aujourd'hui très

limitées car les températures atteintes sont faibles du fait des pertes thermiques importantes qu'ils présentent.



Figure II. 1 : Capteur plan sans vitrage

II.2 Capteurs plans vitrés :

Les capteurs plans vitrés sont les plus répandus du fait de leurs meilleures performances dues à une meilleure isolation mais aussi des avancées techniques réalisées sur la qualité de l'absorbeur qui est une surface sélective fortement absorbante dans le visible et faiblement émissive dans l'infrarouge. Le vitrage est destiné à limiter les pertes thermiques convectives et radiatives. La vitre permet de créer un effet de serre dans le capteur grâce à la propriété du verre pratiquement opaque dans l'infrarouge réduisant ainsi l'échange avec le milieu extérieur. Ainsi, ces capteurs permettent d'atteindre des températures d'eau de l'ordre de **100°C** dans le cas des doubles vitrages.

Leurs applications les plus répandues sont la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage de bâtiments.

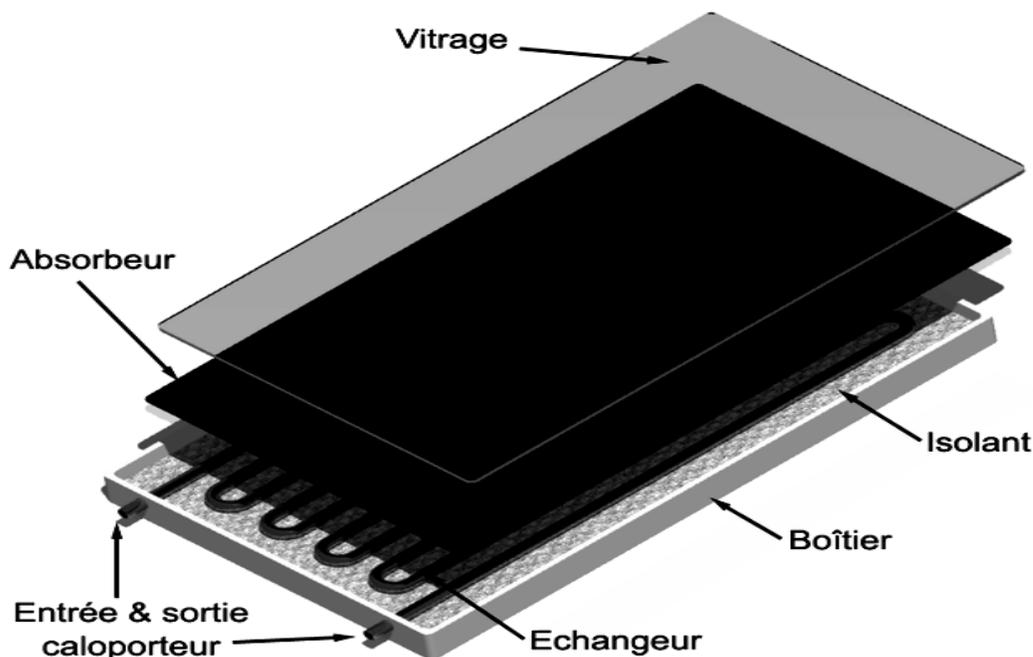


Figure II. 2 : Capteur plan vitré

La Figure II. 2 présente une coupe schématique des capteurs à air et à eau les plus courants. On trouve également une couche isolante sur la face arrière pour éviter les pertes par conduction.

II.3 Capteur sous vide :

Pour les cas où le besoin de chaleur est à une température supérieure à 100°C ou que la surface disponible est limitée, il est intéressant d'utiliser des capteurs plans sous vide. Ils se présentent sous la forme de tubes de faible diamètre (quelques centimètres) dans lesquels est placé l'absorbeur, l'intérieur du tube est vidé de son air, la surface de l'absorbeur est, comme dans le cas précédent, recouverte d'une couche dite sélective et le verre est traité de sorte à éviter les émissions infrarouge. (Figure II. 3)

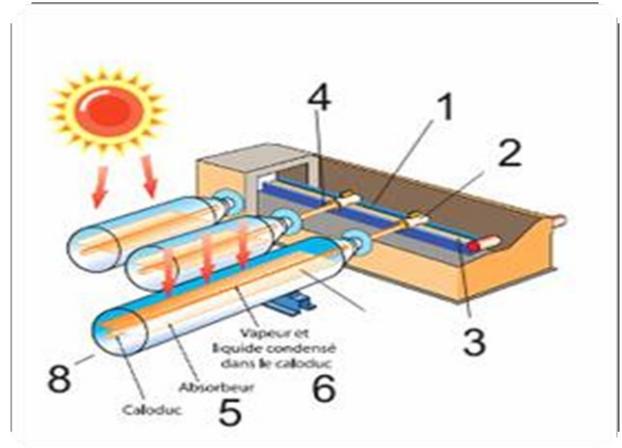


Figure II. 3 : Les composants du capteur sous vide

1. Collecteur isolé à l'intérieur de l'enveloppe de protection
2. Condenseur du caloduc
3. Circulation de l'eau dans le collecteur
4. Tube acier étanche
5. Absorbeur
6. Liquide descendant
7. Vapeur montante
8. Tube de verre sous vide

Le fluide froid entrant dans le capteur circule dans le tube intérieur, se dirige dans l'absorbeur placé dans l'ampoule sous vide et remonte dans le tube extérieur une fois en bas. ces capteurs nécessitent un procédé de fabrication complexe afin d'assurer les liaisons entre les parties en verre et les parties métalliques. (Figure II. 4)

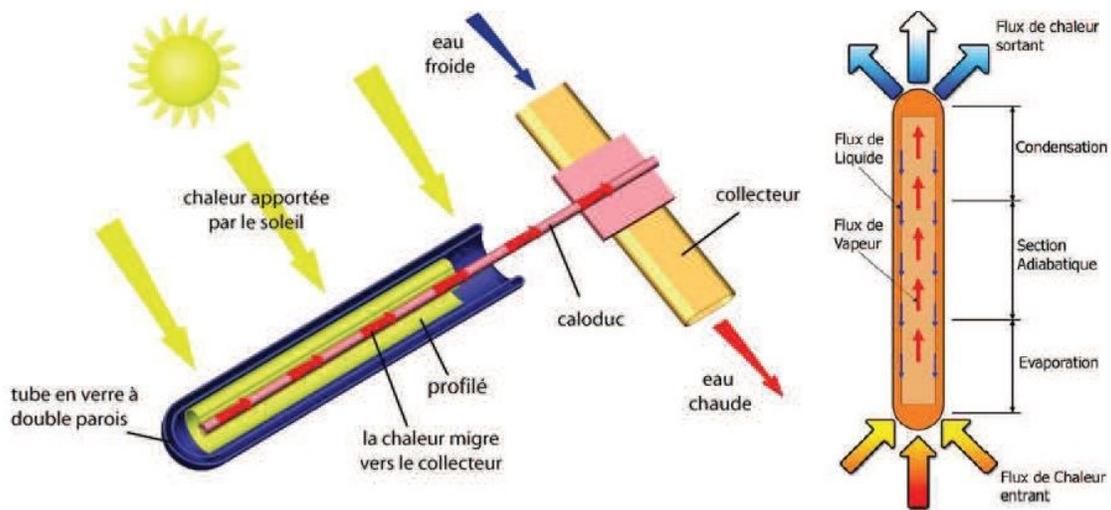


Figure II. 4 : Principe de fonctionnement de capteur à tubes sous vide

Le fluide interne s'évapore grâce au rayonnement solaire. La vapeur ainsi créée se dirige vers le haut du caloduc pour se condenser par contact avec le fluide caloporteur du circuit solaire dans le collecteur du capteur.

En résumé, un caloduc permet un transfert de chaleur continu par transformation de l'énergie reçue en enthalpie de changement de phase (chaleur latente) et un transfert de masse (déplacement des différentes phases du fluide interne).

II.4 Capteurs plans vitrés ou sous vide avec miroir de concentration parabolique :

Une autre innovation a été apportée au capteur plan par quelques marques suite au développement des capteurs à concentration et à l'observation de leurs performances.

Elle consiste en l'utilisation de réflecteurs à composés paraboliques possédant un important angle d'admission, afin d'orienter l'énergie solaire vers l'absorbeur.

L'importance de cet angle permet d'éviter l'utilisation d'un système de pointeur solaire et ainsi d'avoir un capteur fixe.

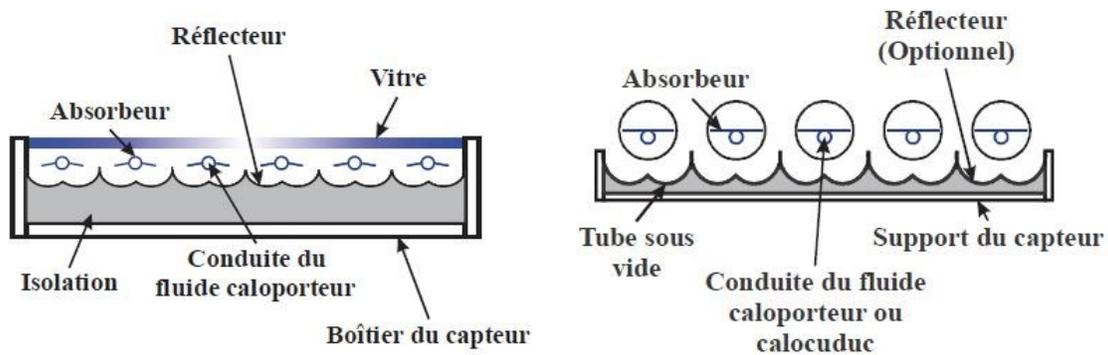


Figure II. 5 : Deux capteurs avec un réflecteur

La Figure II. 5 présente les deux principaux types de capteurs, c'est-à-dire pour un capteur vitré dans le cas de gauche et un capteur à tube sous vide dans le cas de droite. Cette technologie permet de concentrer plus de rayonnement solaire sur un même absorbeur l'avantage de cette méthode est réduire le nombre d'absorbeurs, et améliorer le rendement et de réduire le coût au minimum.

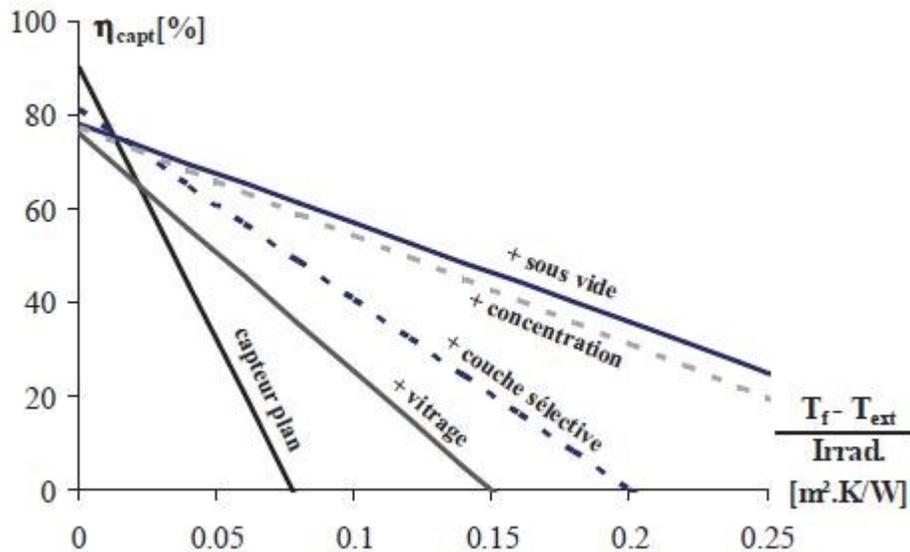


Figure II. 6 : Courbes caractéristiques des rendements de capteurs plans

La Figure II. 6 montre l'évolution des performances des capteurs solaires à conversion thermique avec les différentes évolutions majeures qui sont apparues au cours de leur développement grâce à l'ingéniosité des fabricants.

III Les capteurs mobiles :

Lorsque les capteurs plans ne sont plus adaptés aux niveaux de températures souhaités ($>120^{\circ}\text{C}$), il est nécessaire d'utiliser des capteurs permettant une concentration du rayonnement émis par le soleil.

Le flux solaire est reçu par une surface de grande taille appelée surface de couverture, puis dirigé vers un absorbeur de surface plus petite par l'intermédiaire de réflexions (sur des miroirs) ou par des réfractions (à travers des prismes ou lentilles).

Le taux de concentration géométrique est défini par le rapport entre ces deux surfaces. Ces capteurs permettent une réduction des pertes thermiques (proportionnelles à la surface du récepteur) et par conséquent d'obtenir de meilleurs rendements et de plus hautes températures. Mais ils n'utilisent que le rayonnement direct du soleil et nécessitent un système de pointage plus ou moins évolué en fonction de la technologie.

Les solutions pour concentrer le flux solaire sont très nombreuses et sont présentées ci-dessous

III.1 Capteurs cylindre-parabolique (1 axe)

Il s'agit de la technologie la plus utilisée dans les grandes centrales solaires thermique de production d'électricité, le miroir concentrateur est un cylindre de section parabolique et ne comporte qu'une seule direction de courbure (figure II. 7)

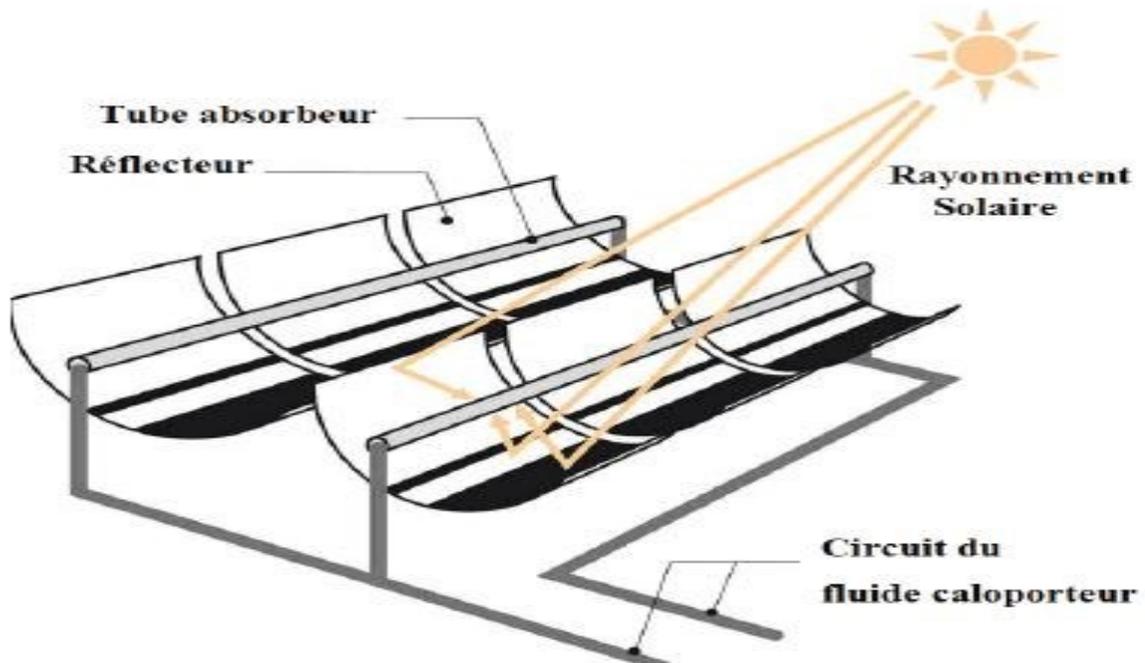


Figure II. 7 : Capteurs cylindre-parabolique

La concentration a lieu sur la ligne où est placé le récepteur tubulaire dans lequel circule le fluide caloporteur (eau ou huile) qui peut être chauffé jusqu'à 450°C.

De très grandes puissances peuvent être installées par interconnexion de plusieurs capteurs. La limitation dans ce cas vient des pertes de charges et des pertes thermiques qui augmentent avec la taille de l'installation.

III.2 Capteurs à lentille de Fresnel (1 axe)

Les collecteurs à miroirs de Fresnel offrent une solution alternative aux capteurs cylindre-paraboliques. Ce système utilise des miroirs plans disposés en lamelles parallèles qui s'inclinent de manière à suivre le soleil et à concentrer les rayons sur l'absorbeur tubulaire placé au dessus (Figure II. 8).

Le fluide caloporteur (eau, huile, vapeur) circulant dans l'absorbeur peut être chauffé jusqu'à 400-450°C.

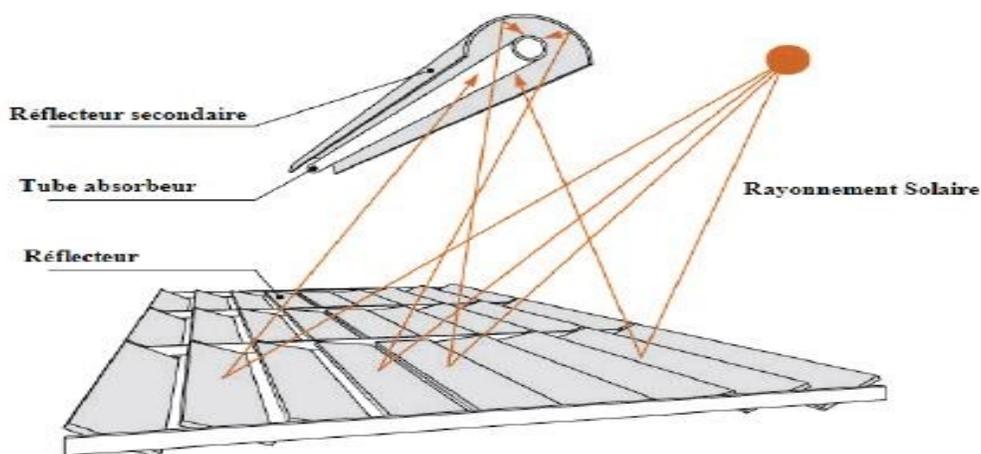


Figure II. 8 : Schéma de principe de capteur de Fresnel

III.3 Parabole de révolution (2 axes) :

Il est le concentrateur idéal pour concentrer les rayons du soleil (figure II. 9). Par contre, il est indispensable d'orienter l'axe de la parabole dans la direction du soleil, afin que les rayons solaires réfléchis convergent vers le foyer (zone de concentration maximale).

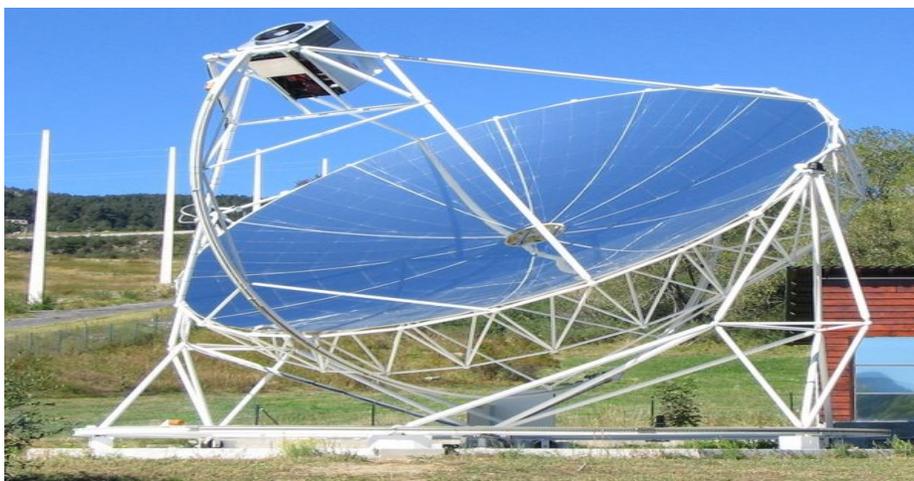


Figure II. 9 : Capteur parabolique de révolution

La nécessité de mobiliser la parabole selon deux axes de rotation pour assurer la poursuite du soleil entraîne une limitation de la dimension unitaire de ce type d'installation. Par conséquent, la surface courante de ces paraboles est de 50 à 100 m², et permet d'atteindre de très hautes températures (plus de 800°C).

IV Transport et stockage de la chaleur :

Les calories captées par les panneaux solaires sont transportées par un fluide caloporteur

IV.1 Fluides caloporteurs :

Un fonctionnement optimal des absorbeurs solaires nécessite une maîtrise de la température de captage selon l'ensoleillement, et une capacité de transfert thermique importante. Il en est de même pour stockage, c'est pourquoi l'emploi de fluides caloporteurs performants est indispensable.

Il convient toutefois de choisir ce fluide de sorte qu'il soit, autant que possible, deux critères sont prépondérants :

- Un impact sur l'environnement et une dangerosité (toxicité, inflammabilité...) réduite.
- Un approvisionnement et une utilisation simples, contribuant à la puissance et à la fiabilité du système.

a) Eau :

L'eau, sous sa forme liquide est un excellent caloporteur, avec une chaleur spécifique élevée et relativement constante selon la température (environ 4.4kJ/ (kg. K) à 200 °C, 5.1 kJ/ (kg. K) à 300°C).

L'inconvénient majeur de l'eau est la nécessité d'un niveau de pressurisation du circuit pour des températures supérieures à 100 °C pour maintenir l'état liquide.

La pression de service maximale des équipements courants est de 10bars, ce qui correspond à une température de saturation de 179.8°C au maximum.

Rappelons quelques valeurs de pression de saturation liquide de l'eau :

16 bars à 200°C ;

40 bars à 250°C ;

86 bars à 300°C.

L'eau est naturellement favorable à la corrosion de la plupart des métaux, et contient des particules minérales en suspension. Ce sont des facteurs d'encrassement des échangeurs et de vieillissement des équipements hydrauliques. Alors des vidanges et des nettoyages périodiques des équipements sont à envisager. Ces problèmes sont amoindris par des traitements (filtrations), ce qui n'augmente pas de manière significative l'impact sur l'environnement, qui peut être considéré comme négligeable.

b) Huiles minérales :

Des huiles issues du pétrole, sévèrement raffinées sont régulièrement utilisées comme caloporteurs. Il en existe une grande variété, dont les propriétés sont voisines :

- Leur température d'utilisation recommandée de l'ordre de 300°C, parfois jusqu'à 325°C.
- Ces températures nécessitent toutefois une mise sous pression de l'ordre de quelques bars à 12 bars.
- La chaleur spécifique est croissante avec la température, d'environ 1,8 à 2,8 kJ/kg.K entre 50°C et 300°C.

Ce sont des produits pratiquement neutres, non corrosifs pour les métaux, combustibles mais non inflammables.

c) Huiles silicones :

Généralement classes dangereux, et sont inflammables. En revanche ce sont des produits fortement réactifs en présence d'acides forts et / ou de bases et oxydants forts. De nombreuses huiles sont à base silicones produits de synthèse d'usage répandu dans divers domaines, certains de leurs caractéristiques sont intéressantes pour les transferts thermiques.

- Leurs températures d'usage sont assez variables, de 250 à 400°C environ et leur chaleur spécifique comparable à celle des huiles minérales.
- Un autre avantage des huiles silicones est leur grande stabilité chimique, qui permet des usages de longue durée.
- Leur empreinte environnementale est également modérée.

Leur dangerosité marquée pour les insectes et les végétaux, ils sont toutefois toxiques pour les poissons.

IV.2 Stockage thermique :

Par définition, stocker de l'énergie consiste à l'emmagasiner pendant une période où elle est abondante, le stockage de l'énergie solaire peut se faire sous forme thermique (chaleur sensible, chaleur latente).

Cependant, le stockage thermique est très brièvement expliqué à la fin de notre étude pour choisir la meilleure méthode convenable, c'est-à-dire stockage par chaleur sensible ou par chaleur latente.

a) Stockage par chaleur sensible :

La capacité calorifique d'un fluide est par définition le produit de sa masse m [kg] par sa chaleur spécifique Cp [J/ (kg. °C)].

Tout fluide a une capacité calorifique et peut donc stocker de la chaleur en quantités plus ou moins importante. Un fluide de capacité calorifique C dont la température varie (augmente) de ΔT a une quantité de chaleur (enthalpie) qui varie (augmente) de :

$$\Delta H = C \cdot \Delta T \quad (\text{II. 1})$$

La capacité calorifique est donc l'augmentation de l'énergie du matériau nécessaire pour augmenter d'un °C sa température. Si on considère que le matériau est homogène à la masse volumique de ρ [kg/m³] et au volume V [m³], nous avons :

$$\Delta H = \rho \cdot C \cdot V \cdot \Delta T \quad (\text{II. 2})$$

Le tableau 1 donne la valeur de C (en kJ/ (kg.K)) et la gamme de température de fonctionnement de quelques matériaux utilisés pour le stockage par chaleur sensible.

Tableau 1 : les valeurs de capacités massiques de quelques matériaux

Matériau	C (kJ/(Kg.°C))	T (°C)
EAU	4,186	20
VAPEUR D'EAU	1.410	100
HUILE MINERALE	2000	125

Ainsi, à pression constante, si l'on réchauffe un corps (de stockage) de masse m , de chaleur spécifique Cp et de température initiale T_0 , à la température finale T_1 , on peut stocker une énergie donnée par sa variation d'enthalpie ΔH :

$$\Delta H = m Cp (T_1 - T_0) \quad (\text{II. 3})$$

b) Stockage par chaleur latente :

Le stockage par chaleur latente présente deux avantages par rapport à la chaleur sensible :

- le stockage par chaleur latente consiste à exploiter la quantité d'énergie engagée lors du changement d'état d'un corps. Ce changement d'état s'opère à température constante, donc il permet de régler la température du milieu de changement de phase.
- une autre différence entre le mode de stockage par chaleur sensible et latente est due aux très fortes capacités de stockage par chaleur latente par rapport à sensible.

L'utilisation du changement de phase d'un corps est un bon moyen de stocker et de restituer de la chaleur ou du froid.

IV.3 Conclusion

Des multiples possibilités, les solutions de stockage thermique par chaleur sensible sont les plus neutres pour l'environnement.

Le stockage thermique le plus réaliste est l'utilisation de la chaleur sensible. L'huile minérale est également bon marché pour le stockage thermique pour des températures maximales voisines 300°C.

CHAPITRE 3

Etude préalable à la réalisation d'une installation solaire à conversion thermique

Introduction	28
I. Principe de fonctionnement d'une installation Solaire thermique	29
II. Dimensionnement d'une installation solaire-thermique.....	30
II.1 Estimation des besoins en chauffage	30
II.2 Choix du type de capteur	31
II.3 L'étude d'implantation des capteurs	31
II.4 L'énergie récupérée par l'eau de stockage	35
II.5 Pertes dans la tuyauterie et le réservoir de stockage	36
II.6 L'énergie de pompage	36
III. Les différentes configurations de système de chauffage	36
IV. Analyse la rentabilité économique	38

Introduction :

Les installations solaires thermiques sont destinées au préchauffage de l'eau chaude sanitaire. Leur principal intérêt est de faire gagner une part non négligeable d'énergie ; elles devraient connaître un essor encore plus important à l'avenir.

Le but de cet chapitre est donc de connaître les fondamentaux dans ce domaine afin d'optimiser la productivité et atteindre les performances escomptées d'une installation solaire thermique par capteurs plans vitrés destinée pour la production d'eau chaude sanitaire.

Avant d'opter pour la décision d'une production d'eau chaude sanitaire à l'aide de l'énergie solaire, il convient de respecter les 4 règles d'or suivantes :

- **Pertinence des applications**

Le bâtiment doit être consommateur d'eau chaude sanitaire avec de préférence des besoins réguliers et continus tout au long de l'année.

- **Implantation des capteurs solaires**

Le bâtiment doit pouvoir disposer d'une surface nécessaire à l'implantation et l'exploitation des capteurs solaires. Ces capteurs devront être préférentiellement orientés au sud, avec l'inclinaison requise, et un minimum d'effet de masque. Il faudra s'assurer que le poids des capteurs est supportable par la toiture ou étudier la possibilité de les implanter au sol.

- **Implantation des ballons solaires**

Le bâtiment ou les logements doivent pouvoir disposer d'un local adapté (surface, hauteur sous plafond, mur ou dalle supportant le poids du ballon) pour mettre en place le matériel solaire nécessaire.

- **Raccordements**

Il faut disposer ou prévoir un passage pour les liaisons entre les capteurs, le local technique, et les points de puisage.

I. Principe de fonctionnement d'une installation solaire thermique :

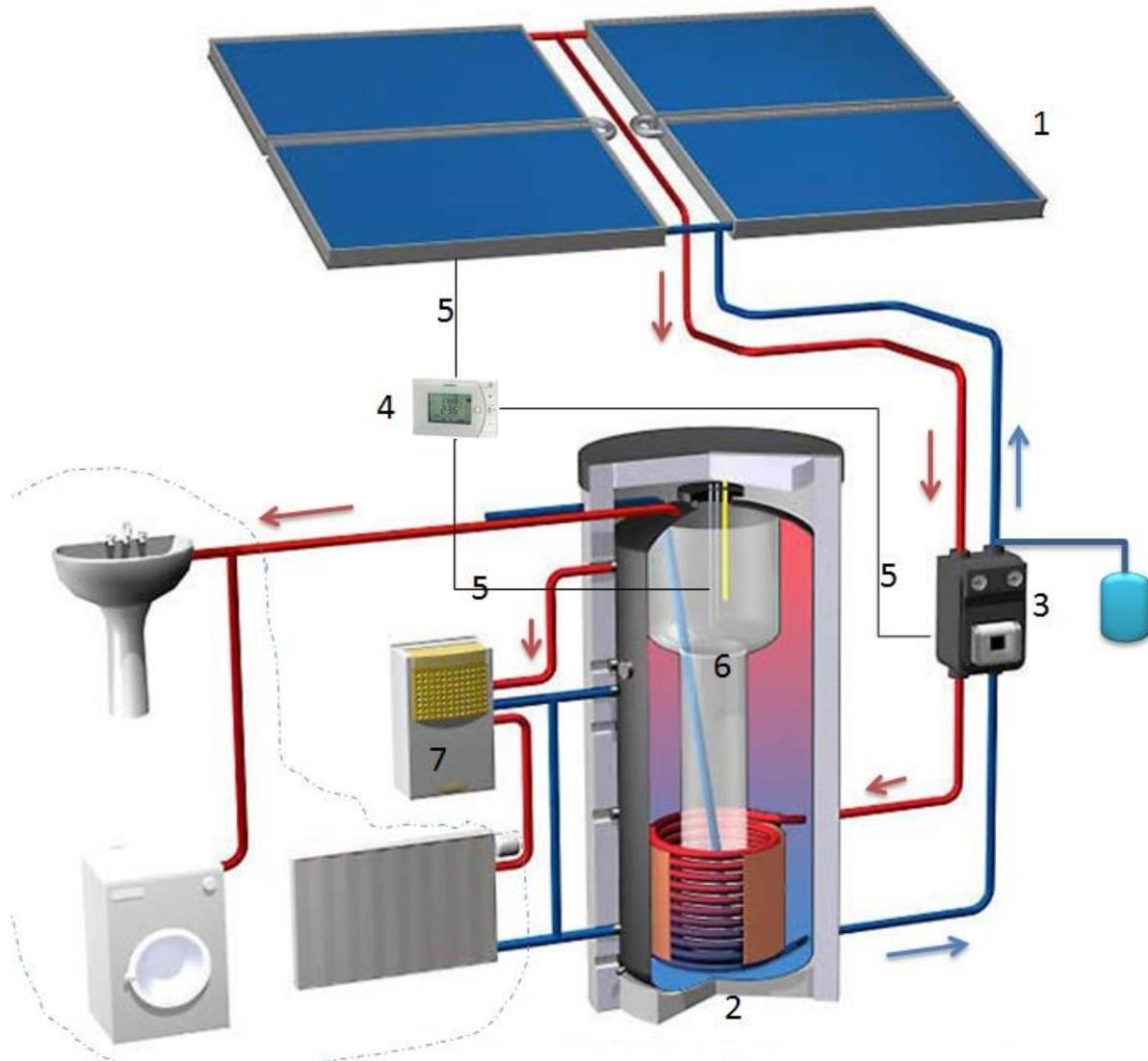


Figure III. 1 : Les différents composants d'un système de chauffage solaire

Le fonctionnement d'un chauffe-eau solaire est simple :

Il consiste en un transfert de l'énergie solaire absorbée par les capteurs *1* vers un système de stockage (ballon) *2*. Ce transfert est exécuté au moyen d'un liquide caloporteur sanitaire antigel très peu corrosif vis-à-vis de l'installation et sans aucun danger pour l'homme.

Dès que la régulation différentielle *4* détecte - grâce à ses deux sondes de température *5* une chaleur plus importante dans les capteurs solaires que dans le ballon, elle donne immédiatement l'ordre à la pompe de circulation, pièce maîtresse du groupe de transfert *3*, de

se mettre en route et ainsi faire circuler l'antigel réchauffé des capteurs vers l'échangeur du ballon. Les calories sont donc échangées entre l'antigel et l'eau sanitaire, ainsi réchauffée. L'antigel refroidi retourne ainsi au capteur où à nouveau il sera réchauffé par le rayonnement solaire. Ces calories sont stockées dans le ballon tampon avant d'être dirigées vers la chaudière 7 en période de demande de chauffage.

L'énergie d'appoint de la chaudière vient compléter « la chauffe », si nécessaire, jusqu'à atteindre la température de consigne souhaitée.

La production d'eau chaude sanitaire est assurée grâce à un ballon spécifique immergé dans le volume du ballon tampon, fonctionnant par "bain-marie" 6.

II. Dimensionnement de l'installation :

II.1 Estimation des besoins en chauffage :

L'énergie nécessaire pour chauffer l'eau doivent être déterminés dans les modèles de production d'eau chaude sanitaire (avec ou sans stockage).

Pour calculer les quantités d'énergie nécessaires à la production d'eau chaude sanitaire, il faut d'abord connaître les volumes d'eau chaude à produire.

Tableau 1 : les besoins en eau chaude sanitaire dans différents secteurs du domaine collectif

Type d'établissement	Observation	Consommation d'eau chaude à 60°C
Clinique / Bureau	Lavabo, WC	5 litres/ jour/personne
Foyer	Lavabo, douche, WC collectif, cuisine	60 litres/jour
Restaurant	Repas ordinaire, luxe, Petit-déjeuner	8 litres/repas
Maison	Cuisine, douche, WC, lavage	20 litre /jour / Personne
Ecole	Majorité d'élève en demi-pension	5 litres/jour/élève
Hôtel	Restauration, laverie	77 litres/jour/chambre

La quantité réelle d'énergie nécessaire pour produire l'eau chaude sanitaire est calculée comme étant la quantité d'énergie nécessaire pour chauffer ce volume d'eau de la température de l'eau froide jusqu'à la température demandée. Si V_s est le volume d'eau chaude à estimer et T_{EC} la température demandée d'eau chaude, les deux étant spécifiées par

l'utilisateur, alors la quantité d'énergie Q_C nécessaire pour produire l'eau chaude est donnée par :

$$Q_C = \rho C_p V_s (T_{EC} - T_{EF}) \quad (\text{III. 1})$$

Où C_p est la capacité calorifique de l'eau (4 200 J/kg. °C)
 ρ sa masse volumique (1 kg/l), et T_{EF} est la température de l'eau froide.

II.2 Sélection du type de capteur qui convient :

Outre la place disponible, les conditions de mise en place et les autres conditions rencontrées, la différence à atteindre entre la température moyenne des capteurs et l'air ambiant pour le type de dimensionnement est le critère de choix du type de capteur. Il influe sur le rendement des capteurs. Plus la température de service du capteur est importante, plus les performances seront augmentées et donc la puissance fournie par les capteurs plan à vitrage sera élevée.

Tableau 2 : Caractéristiques techniques des capteurs à vitrage [i. 3]

Type	VitoSol 100	VitoSol 200
Surface brute par capteur	5,26 m ²	2,25 m ²
Surface de captage par capteur	4,92 m ²	2,33 m ²
Rendement optique ($\tau \cdot \alpha$)	0,726	0,724
Coefficient de déperdition thermique U_L	4,15 (w/m ²)/°C	3,5 (w/m ²)/°C
Température de service maxi	120°C	90°C
Plage de débit	15-15 l/h.m ²	15-50l/h .m ²

II.3 Etude d'implantation des capteurs :

Une installation solaire doit être composée de capteurs de même marque et de même type. Pour éviter les couples métalliques, sources de corrosion interne des capteurs.

Les capteurs doivent être disposés sur des supports :

- Tel que la planéité des capteurs soit respectée ; en aucun cas le montage sur les supports ne doit provoquer le gauchissement des capteurs.

- De manière à ce que le côté percé d'ouvertures d'évacuation des condensats soit situé en partie basse du capteur.
- Capables de résister aux charges climatiques extrêmes (vent et neige).

Tous les capteurs doivent également présenter des caractéristiques physiques voisines, notamment en ce qui concerne les pertes de charge. Ce point est particulièrement important, puisqu'il peut être à l'origine de difficultés d'équilibrage hydraulique des batteries de capteurs. Dans tous les cas, on aura avantage à respecter les indications recommandées dans la notice technique établie par le fabricant des capteurs, notamment pour le raccordement des capteurs entre eux.

Une des causes fréquemment constatées entre les performances thermiques d'un système solaire mesurées sur site et celles prévues par le calcul est souvent attribuée à un mauvais équilibrage du champ des capteurs. Le raccordement des batteries en parallèle avec une boucle constitue un pré-équilibrage et permet de limiter les pertes de charge si les batteries sont uniformes.

En règle générale, le raccordement des capteurs en boucles est possible. Toutefois, il convient de veiller à adapter le diamètre des collecteurs au nombre de capteurs et à la perte de charge de ceux-ci. En effet, afin d'assurer une certaine égalité des débits dans les différents capteurs, il est nécessaire que le rapport de perte de charge dans les collecteurs sur les pertes de charge dans les capteurs soit le plus faible possible, c'est à dire que le rapport de diamètre interne des collecteurs sur le diamètre interne des circuits hydrauliques des capteurs compris entre 1,6 et 3,3. (A. Lebru. CSTB-MPE 1985).

D'autres types de configurations peuvent également être envisagés :

- raccordement en parallèle,
- raccordement en séries.

Dans tous les cas, on évitera de raccorder plus de 5 à 6 capteurs dans une même batterie.

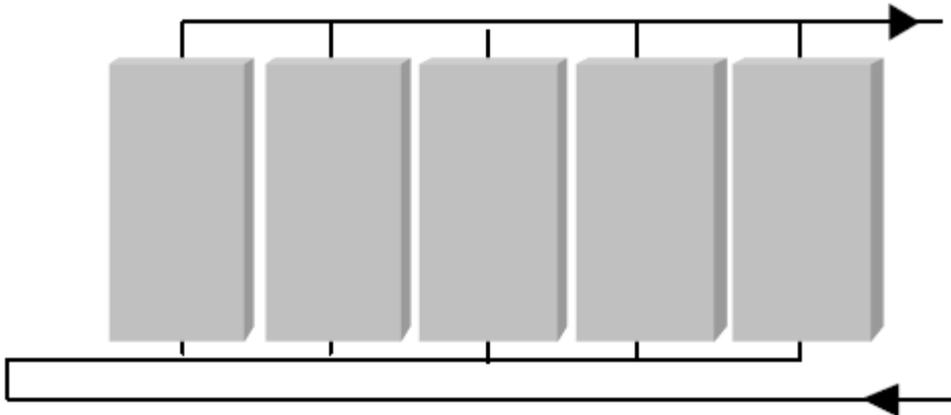


Figure III. 2 : Raccordement en boucle

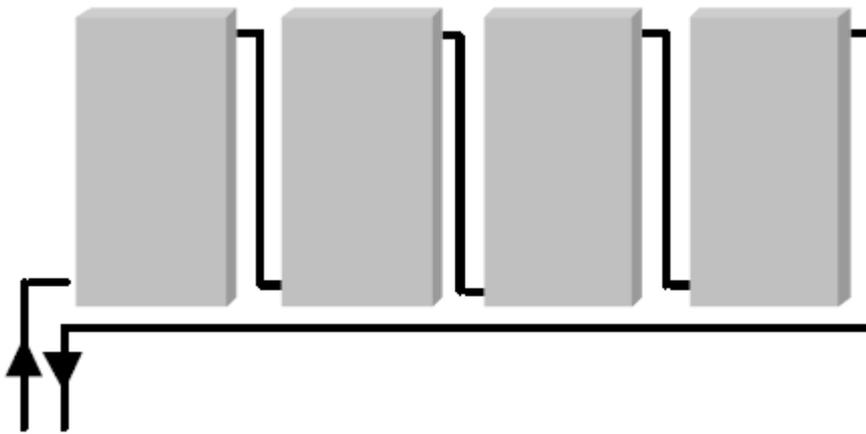


Figure III. 3 : Raccordement en série

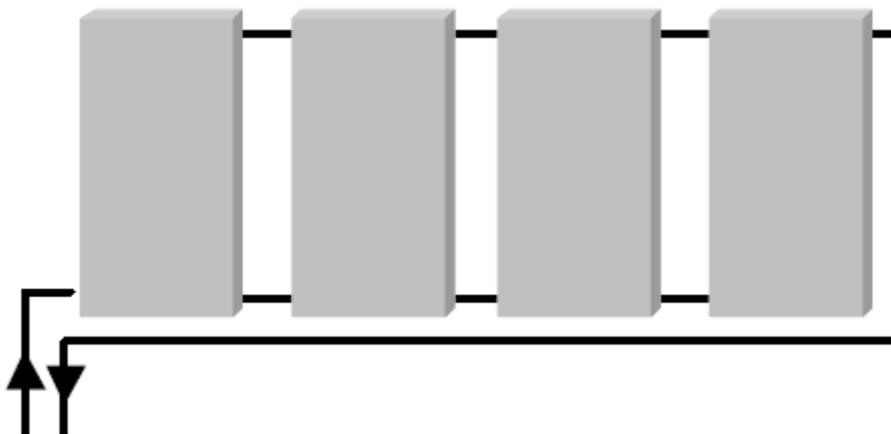


Figure III. 4 : Raccordement en parallèle

II.4 Energie récupérée par l'eau de stockage

Les capteurs solaires vitrés ou à tubes sous vide sont décrits par l'équation suivante (Duffie et Beckman, 1991):

$$Q_{CAP} = A_C F_R (\alpha \cdot \tau) G - F_R U_L (T_{EF} - T_a) \quad (\text{III. 2})$$

Où

Q_{CAP} est l'énergie captée par le capteur solaire

F_R est un facteur caractérisant les pertes thermiques du capteur

τ est la transmissivité du vitrage

α est l'absorptivité de l'absorbeur dans le spectre visible

G est l'ensoleillement global incident sur le plan du capteur solaire

U_L est le coefficient global de déperdition thermique du capteur

T_a La température ambiante.

II.5 Le stockage et l'appoint

Au stade de l'étude préalable (étude de faisabilité ou pré-diagnostic) il devra être tenu compte des possibilités de passage des liaisons hydrauliques entre le champ de capteurs et les ballons de stockage, compte tenu du diamètre des tuyauteries, de la nécessité de maintenir leur accessibilité pour en effectuer l'entretien, et des possibles nuisances sonores qui pourraient résulter de l'écoulement du fluide.

La bonne configuration consiste à positionner le ou les ballons de stockage à proximité à la fois du champ de capteurs et de l'appoint, de manière à réduire au maximum les longueurs de tuyauteries et de limiter les pertes thermiques. Lorsqu'il ne sera pas possible de satisfaire cette double condition, le ballon de stockage solaire sera positionné au plus près possible de l'appoint.

La capacité unitaire des ballons d'appoints sera choisie, dans la mesure du possible, parmi la gamme d'appareils du commerce, inférieure ou égale à 5000 litres, compte tenu de la place disponible pour leur implantation. Ainsi, le nombre de ballons nécessaires sera choisi à rendre les plus aisés possible, l'installation, l'entretien et le remplacement des équipements. Sauf prescription particulière, ce nombre sera au maximum de 2 ou 3.

II.6 Pertes dans la tuyauterie et le réservoir de stockage

Puisque l'eau chaude est stockée dans un réservoir et circule dans des tuyaux imparfaitement isolés, des pertes thermiques vers l'environnement surviennent. Ces pertes sont considérées différemment selon que les systèmes aient ou non un réservoir de stockage (incluant le cas des piscines).

Dans les systèmes sans stockage, l'énergie fournie par les capteurs solaires Q_C est égale à l'énergie captée Q_{CAP} diminuée des pertes dans la tuyauterie, exprimées par un facteur de pertes f_{pertes}

$$Q_C = Q_{CAP} \cdot (1 - f_{pertes}) \quad (\text{III. 3})$$

Pour les systèmes avec stockage, la situation peut être légèrement différente puisque ces systèmes peuvent être capables dans certains cas, de compenser les pertes dans les tuyaux et dans le réservoir en captant et stockant de l'énergie en surplus.

$$Q_C = Q_{CAP} \cdot (1 + f_{pertes}) \quad (\text{III. 4})$$

II.7 Énergie de pompage

L'énergie de pompage est calculée par :

$$Q_p = N \cdot P_p A_C \quad (\text{III. 5})$$

Où

P_p : est la puissance de pompage par unité de surface du capteur solaire.

N : le nombre d'heures par année pendant lesquelles le capteur solaire est en fonctionnement.

Une approximation de N est tout simplement obtenue en prenant le rapport de quantité captée et la quantité d'énergie fournie par le système et f_{pertes} la fraction d'énergie solaire perdue dans l'environnement via les tuyaux et le réservoir et en les multipliant par le nombre d'heures de clarté pour le mois $N_{clarté}$:

$$N = \frac{Q_{CAP} \cdot (1 + f_{pertes})}{A_C \cdot F_R \cdot (\tau\alpha) \cdot G} N_{clarté} \quad (\text{III. 6})$$

La production annuelle d'énergie au m² est simplement l'énergie fournie par le système divisée par la surface de capteur solaire. Le rendement du système solaire est l'énergie fournie divisée par l'ensoleillement incident sur la surface totale de capteur solaire. Le taux de recouvrement de la charge (fraction solaire) est égal à l'énergie fournie divisée par la demande d'énergie.

III. Les différentes configurations de systèmes de chauffage solaire de l'eau

III.1 Systèmes thermosiphons:

Un système thermosiphon est généralement composé d'une boucle directe (sans échangeur). Aucune pompe n'est requise, l'eau circule naturellement dans la boucle sous l'action de la chaleur générée dans les capteurs. L'eau chauffée dans les capteurs est moins dense que l'eau froide du réservoir de stockage placé plus haut, l'eau plus froide du réservoir exerce une pression sur la colonne d'eau dans les capteurs, plus chaude, donc moins dense. Sous l'effet de la gravité, s'amorce ainsi une circulation naturelle. Simple et fiable, il est couramment utilisé à travers le monde pour la production d'eau chaude sanitaire. En climats froids, on utilise ce type de système pour des applications saisonnières, le réservoir de stockage thermique doit être placé plus haut que les capteurs solaires pour permettre la circulation naturelle, l'eau chaude s'accumule graduellement dans le réservoir tout en bénéficiant d'une stratification naturelle (l'eau chaude s'accumule d'abord dans la partie supérieure du réservoir), Pour assurer de meilleures performances, la boucle solaire doit être la plus courte possible et son diamètre le plus grand possible (19 mm ou 3/4" minimum même pour un système résidentiel) . Figure III. 5

Remarque :

À noter qu'un système thermosiphon bien conçu peut avoir des performances comparables à un système utilisant une pompe, on peut donc utiliser le modèle RETScreen pour faire une étude de préfaisabilité de tels systèmes.

III.2 Systèmes pompés à boucle directe:

Sont des systèmes sans échangeur de chaleur; l'eau chaude circule directement par une pompe dans la boucle solaire, sont des systèmes simples et économiques, ils sont utilisés en climats chauds ou pour des applications saisonnières en climats froids. Figure III. 6

Remarque :

À noter que les systèmes solaires pour piscines extérieures sont généralement des systèmes à boucle directe connectés sur le circuit de filtration de la piscine.

III.3 Systèmes pompés à boucle indirecte:

- Ces systèmes utilisent un fluide antigel dans la boucle solaire (utilisés en climats froids);
- Systèmes avec échangeur de chaleur. Figure III. 7

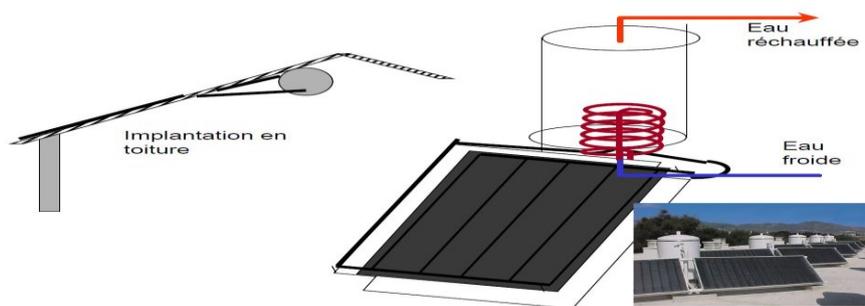


Figure III. 5 : Système thermosiphon

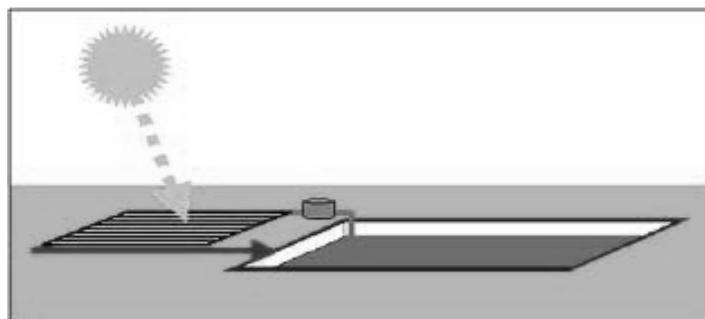


Figure III. 6 : Système pompé à boucle directe

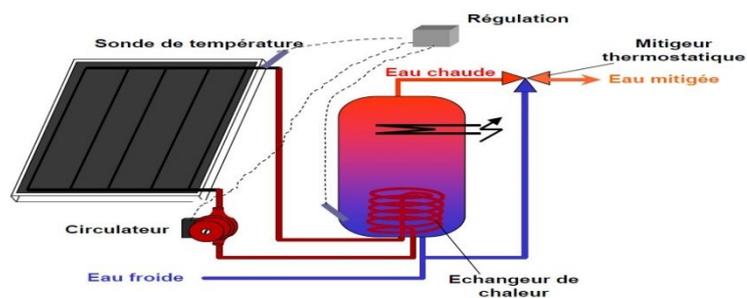


Figure III. 7 : Système pompé à boucle indirecte

IV. Analyse de la rentabilité économique du système :

Le succès d'un système de captage solaire pour la production de chaleur repose sur sa rentabilité économique. Cette rentabilité tient compte de l'argent investi et des bénéfices réalisés.

Les économies d'énergies engendrées par la mise en place du dispositif sont évaluées en effectuant une comparaison entre les besoins de chauffage de deux maisons identiques, l'une équipée du procédé et une deuxième non équipée. Les besoins de chauffage seront ce que devra fournir un système de chauffage (à gaz ou électrique) pour atteindre une température de consigne de 65 °C.

L'analyse a été effectuée pour plusieurs régions représentant chacune une zone climatique différente. (M. Capderou, Atlas solaire de l'Algérie, Aspect Energétique. 1999)

Tableau 3: Economies d'énergie réalisées

	ANNABA		CONSTANTINE		DJELFA	
	Sans système	Avec système	Sans système	Avec système	Sans système	Avec système
Charge annuelle de chauffage [kWh]	996 ,5	304	1844	736,2	2185	819,4
Volume de gaz [m ³]	128,5	39,2	273,5	95	281,7	105,5
Coût annuel du chauffage [DA]	360	110	665	266	789	295
Economies réalisées [DA]	260		400		495	

L'évaluation en DA des charges de chauffage est faite à partir d'un prix du m³ de gaz égal à 2.8 DA qui le prix adopté par SONELGAZ.

Nous pouvons observer que la mise en place du système de chauffage solaire engendre une économie de 60% à 70 % des besoins de chauffage. (Source : *Atlas Climatologique National*)

Pour les ménages, les économies apportées peuvent leur paraître assez faible, par contre sur le plan macro-économique ces économies sont considérables. Il faut savoir qu'en Algérie la consommation énergétique dans le domaine du bâtiment est évaluée à 35 % de la consommation totale et qu'une réduction de 5 à 10 % de notre consommation se traduirait par une économie de 150 millions de dollars par an.

CHAPITRE 4

Simulation d'un projet de chauffage solaire d'eau par le logiciel *RETScreen*

Introduction.....	40
I. Évaluation des besoins en eau chaude	41
I.1 Description de l'installation.....	41
I.2 Calcule manuel des besoin en eau chaude sanitaire	42
II. Présentation de RETScreen.....	42
III. Simulation des déférentes installations par RETScreen	
Cas de bureaux T=50°C	46
Cas d'une maison T= 65°C	47
Cas de l'industrie T= 80°C	48
IV. Interprétation des résultats	49
V. Conclusion	49

Introduction :

Les techniques pour tirer bénéfice de l'énergie solaire ont été grandement améliorées au siècle dernier; aujourd'hui, il y a plus de 30 millions de m² de capteurs solaires installés dans le monde. Des centaines de milliers de systèmes solaires de chauffage de l'eau utilisant les technologies les plus récentes, sont en opération dans de nombreux pays comme la Chine, l'Inde, l'Allemagne, le Japon, l'Australie et la Grèce. De fait, dans certains pays (en Canada par exemple) la loi requiert que des systèmes de chauffage solaire de l'eau soient installés dans tout nouveau projet de construction.

En plus des économies d'énergie, il y a d'autres avantages à utiliser un chauffe-eau solaire. La plupart des chauffe-eau solaires sont installés avec un réservoir supplémentaire de stockage de l'eau chaude placé en amont du chauffe-eau conventionnel. Cette réserve additionnelle augmente la fiabilité d'approvisionnement en eau chaude. Il existe des chauffe-eau solaires 100 % autonomes qui fonctionnent même sans électricité. L'approvisionnement en eau chaude ne dépend plus du réseau électrique mais des conditions d'ensoleillement. Les systèmes de chauffage solaire de l'eau peuvent aussi être utilisés pour chauffer directement l'eau des piscines, avec comme conséquence l'extension de la saison d'utilisation des piscines extérieures.

L'objectif de ce chapitre est d'exposer les principes de bases du dimensionnement d'un système solaire à conversion thermique. Le dimensionnement d'un système solaire à conversion thermique permet le calcul de la puissance fournie par la chaîne des capteurs solaires de façon à avoir le maximum de performances dans des conditions de fonctionnement données. La détermination de la taille des composants doit permettre de garantir une fourniture d'énergie tout au long de l'année.

I. Évaluation des besoins en eau chaude

I.1 Description de l'installation :

Pour connaître le taux de couverture de la production d'eau chaude sanitaire par l'énergie solaire, il est recommandé d'effectuer un calcul par le logiciel *RETScreen* pour le cas d'une maison à Annaba de 4 personnes.

- Maison individuelle à Annaba – Algérie,
- Toit incliné à 45° par rapport à l'horizontale,
- Capteurs orientés vers le sud,
- Nombre de personnes $P = 4$,
- Température eau chaude $T_C = 65^\circ\text{C}$,

Température eau froide $T_F = 17^\circ\text{C}$.

Durant les périodes de mauvais temps et en dehors de la période d'utilisation principale, l'appoint est fourni par une chaudière (fioul/gaz)

– Capteurs solaires : 2 VitoSol 100 d'une surface totale de 5 m^2

I.2 Calcule manuel des besoins en eau chaude :

Consommation d'eau chaude sanitaire à 65°C

Le volume d'eau estimé par jour et par personne $VP = 45 \text{ l}$

Il en résulte une consommation totale de 180 litres par jour.

Selon le rapport aux besoins journaliers pour une température de stockage choisie T_{ST} On recommandera un ballon de 300 litres de capacité.

$$Q_C = m C_P (T_{EC} - T_{EF})$$

$$= 180 \cdot 4175 \cdot (65-17)$$

$$= 40,08 \text{ MJ}$$

$$1\text{Kwh} = 3600\text{kJ}$$

$$\text{Donc } 40,08 \cdot 10^6 / 3600 = 11,13 \text{ kWh/jours}$$

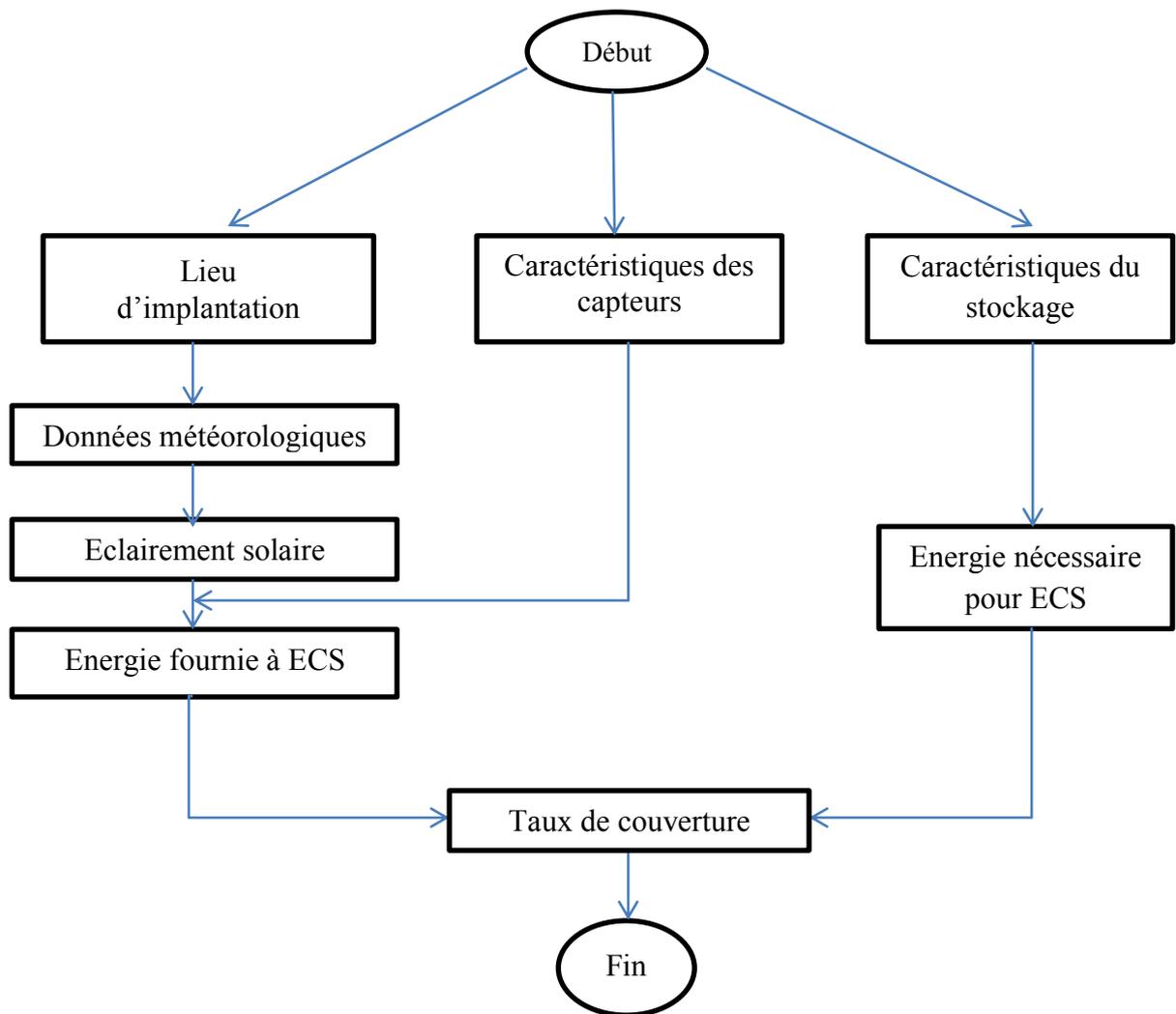
$$\text{Soit pour un an } 11,13 \cdot 10^3 \cdot 365 = 4,06 \text{ MWh/an}$$

$$\text{Donc nous avons besoin de } Q_C = 4,06 \text{ MWh}$$

II. Présentation du logiciel *RETScreen* :

RETScreen® International est un logiciel d'analyse de projets d'énergies propres, destiné aux professionnels et aux étudiants universitaires, cet outil aide à déterminer rapidement et à peu de frais si un projet d'énergie renouvelable, d'efficacité énergétique et de cogénération est financièrement et techniquement viable.

RETScreen est offert par le gouvernement du Canada par le Laboratoire de recherche en diversification énergétique du CANADA (LRDEC). On cherche à déterminer la chaleur nécessaire pour chauffer l'eau chaude sanitaire. Pour cela on construit un programme dont l'organigramme simplifié est donné ci-dessous :



Au vu des conditions météorologiques, les estimations selon l'organigramme sont d'une précision suffisante pour la pratique.

Pour connaître le taux de couverture de la production d'eau chaude sanitaire par l'énergie solaire, il est recommandé d'effectuer un calcul à l'aide du logiciel *RETScreen* incluant les habitudes des utilisateurs.

The screenshot displays the RETScreen International software interface. At the top, there are logos for Natural Resources Canada and the Canadian government, along with the RETScreen International logo and website address. The main content area is divided into two sections: 'Information sur le projet' and 'Conditions de référence du site'. The 'Information sur le projet' section includes fields for project name, location, preparation, type, technology, analysis method, and reference calorific power. The 'Conditions de référence du site' section includes a field for the climate data location. At the bottom, there are logos for NASA, PNUE, GEF, and reeep, along with a link to complete the energy model sheet. The footer contains the software version, copyright information, and the organization name.

Information sur le projet [Voir la Base de données de projets](#)

Nom du projet: Eau chaude
Lieu du projet: ANNABA
Préparé pour: Eau chaude
Préparé par: NADIR GUECHI
Type de projet: Production de chaleur
Technologie: Chauffe-eau solaire
Type d'analyse: Méthode 2
Pouvoir calorifique de référence: Pouvoir calorifique supérieur (PCS)
Afficher paramètres

Conditions de référence du site [Choisir le lieu des données climatiques](#)

Lieu des données climatiques: Annaba/El Mellah
Afficher information

[Compléter la feuille Modèle énergétique](#)

RETScreen4 2012-11-23 © Ministre de Ressources naturelles Canada 1997-2012. RNC/CanmetENERGIE

Figure IV. 1 : Interface du logiciel

III. Simulation par le logiciel *RETScreen* :

Le modèle Chauffage solaire de l'eau de *RETScreen*® *International* peut être utilisé partout à travers le monde pour évaluer la production d'énergie, la viabilité financière et les réductions d'émissions de gaz à effet de serre pour trois applications de chauffage : eau domestique, procédés industriels et piscine, allant des petits systèmes résidentiels aux larges systèmes commerciaux, institutionnels et industriels.

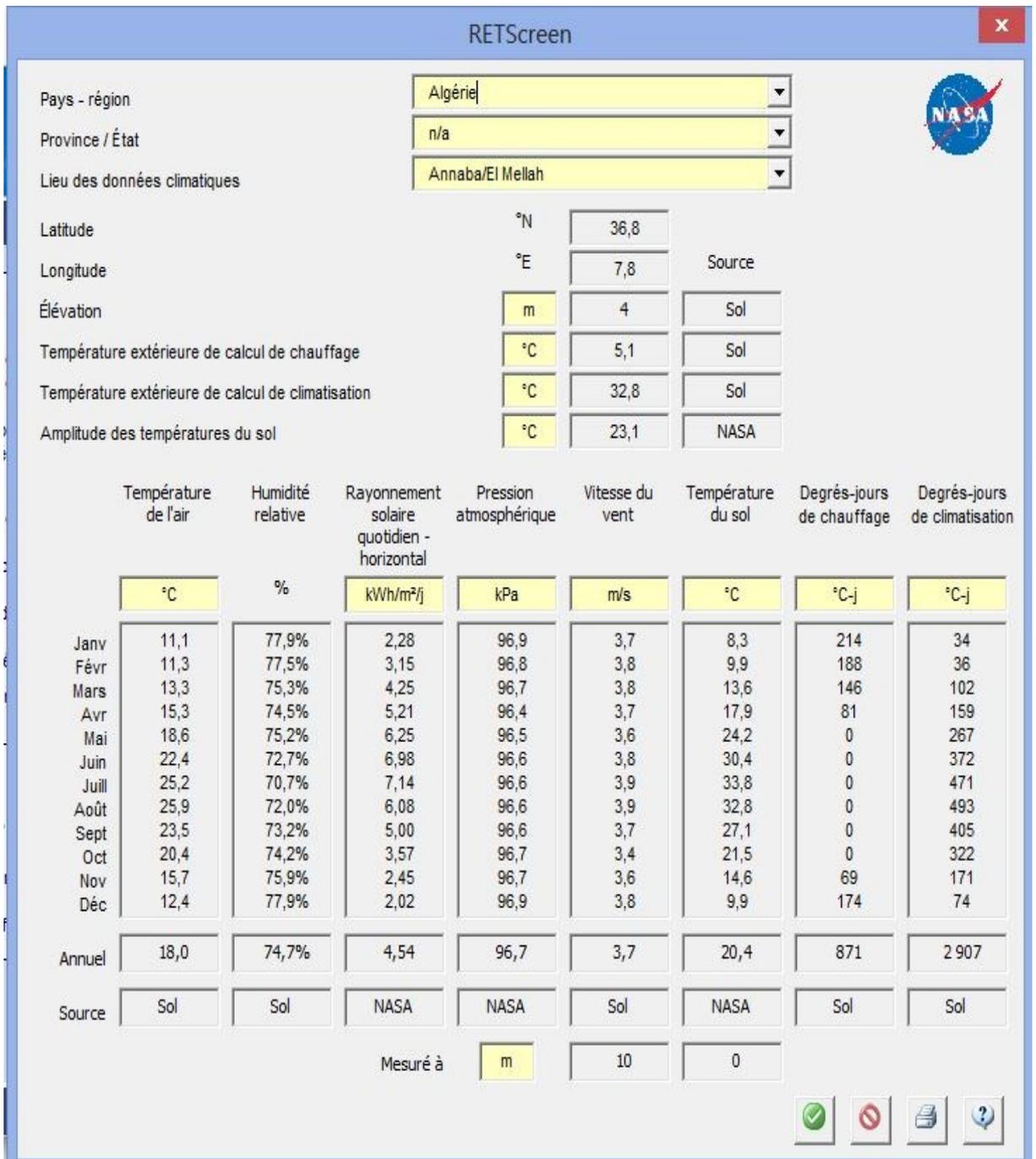


Figure IV. 2 : Les données climatiques pour le site d'Annaba -Algérie

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View RETScreen			
D781		fx 335	
	Unité	Cas de référence	Cas proposé
Type de charge		Bureaux	
Nombre d'unités	Personne	3	
Taux d'occupation	%	75%	
Besoins quotidiens d'eau chaude - estimé	L/j	9	
Besoins quotidiens d'eau chaude	L/j	15	20
Température	°C	50	50
Nb. de jours d'opération par semaine	j	7	7
Portion d'utilisation dans le mois			
Méthode d'évaluation de température d'eau froide		Défini par l'utilisateur	
Température de l'eau - minimum	°C	17	
Température de l'eau - maximum	°C	18	
	Unité	Cas de référence	Cas proposé
Chaleur	MWh	0,2	0,3
Évaluation des ressources			
Système de positionnement solaire		Fixe	
Inclinaison	°	45,0	
Azimut	°	0,0	
Afficher information			
Chauffe-eau solaire			
Type		À vitrage	
Fabricant		Viessmann	
Modèle		VitoSol 100 S2.5	
Surface brute par capteur solaire	m ²	2,72	
Surface de captage par capteur solaire	m ²	2,50	
Coefficient Fr (tau alpha)		0,75	
Coefficient Fr UL	(W/m ²)/°C	4,13	
Coefficient de température de Fr UL	(W/m ²)/°C ²	0,000	
Nombre de capteurs		1	1
Surface du capteur solaire	m ²	2,72	
Capacité	kW	1,75	
Pertes diverses	%	25,0%	
Infrastructures connexes et divers			
Stockage		Oui	
Volume de stockage / surface du capteur solaire	L/m ²	50	
Volume de stockage	L	125,0	
Échangeur de chaleur	oui/non	Non	
Pertes diverses	%	10,0%	
Puissance de pompe / surface du capteur solaire	W/m ²	335,00	
Prix de l'électricité	DZD/kWh	2,8	
Sommaire			
Électricité - pompe	MWh	0,4	
Chaleur fournie	MWh	0,3	
Taux de recouvrement de la charge	%	100%	

Figure IV. 3 : Simulation pour le cas de bureaux

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View RETScreen			
D786 <input type="text" value="fx"/>			
	Unité	Cas de référence	Cas proposé
Type de charge		Maison	
Nombre d'unités	Occupant	4	
Taux d'occupation	%	75%	
Besoins quotidiens d'eau chaude - estimé	L/j	180	
Besoins quotidiens d'eau chaude	L/j	200	250
Température	°C	65	65
Nb. de jours d'opération par semaine	j	7	7
Portion d'utilisation dans le mois			
Méthode d'évaluation de température d'eau froide		Défini par l'utilisateur	
Température de l'eau - minimum	°C	17	
Température de l'eau - maximum	°C	18	
Chaleur	Unité MWh	Cas de référence 4,0	Cas proposé 5,1
Évaluation des ressources			
Système de positionnement solaire		Fixe	
Inclinaison	°	45,0	
Azimut	°	0,0	
Afficher information			
Chauffe-eau solaire			
Type	À vitrage		
Fabricant	Viessmann		
Modèle	VitoSol 100 S2.5		
Surface brute par capteur solaire	m ²	2,72	
Surface de captage par capteur solaire	m ²	2,50	
Coefficient Fr (tau alpha)		0,75	
Coefficient Fr UL	(W/m ²)/°C	4,13	
Coefficient de température de Fr UL	(W/m ²)/°C ²	0,000	
Nombre de capteurs		3	2
Surface du capteur solaire	m ²	8,17	
Capacité	kW	5,25	
Pertes diverses	%	25,0%	
Infrastructures connexes et divers			
Stockage		Oui	
Volume de stockage / surface du capteur solaire	L/m ²	95	
Volume de stockage	L	712,5	
Échangeur de chaleur	oui/non	Non	
Pertes diverses	%	10,0%	
Puissance de pompe / surface du capteur solaire	W/m ²	335,00	
Prix de l'électricité	DZD/kWh	2,8	
Sommaire			
Électricité - pompe	MWh	4,5	
Chaleur fournie	MWh	3,5	
Taux de recouvrement de la charge	%	69%	
Système de production de chaleur			
<input type="button" value="Démarrer"/> <input checked="" type="button" value="Modèle énergétique"/> <input type="button" value="Analyse des coûts"/> <input type="button" value="Analyse des émissions"/> <input type="button" value="Analyse fin"/>			
Ready			

Figure IV. 4 : Simulation pour le cas d'une maison

Simulation d'un projet de chauffage solaire d'eau par le logiciel RETScreen

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View RETScreen

D787 f_x

Technologie **Chauffe-eau solaire**

Caractéristiques de la charge

Application Piscine Eau chaude

Unité	Cas de référence	Cas proposé
	Industriel	
L/j	600	600
°C	80	80
j	7	7

Portion d'utilisation dans le mois

Unité	Cas de référence	Cas proposé
	Défini par l'utilisateur	
°C	17	
°C	18	

Chaleur

Unité	Cas de référence	Cas proposé
MWh	16,0	16,0

Évaluation des ressources

Système de positionnement solaire

Inclinaison	°	Fixe
Azimut	°	45,0
		0,0

Afficher information

Chauffe-eau solaire

À vitrage		
Viessmann		
Vitosol 100-F SV1		
m ²	2,49	
m ²	2,34	
	0,78	
(W/m ²)/°C	4,43	
(W/m ²)/°C ²	0,000	
	10	5
m ²	24,94	
kW	16,35	
%	12,0%	

Infrastructures connexes et divers

Stockage		Oui
Volume de stockage / surface du capteur solaire	L/m ²	67
Volume de stockage	L	1 564,5
Échangeur de chaleur	oui/non	Non
Pertes diverses	%	10,0%
Puissance de pompe / surface du capteur solaire	W/m ²	100,00
Prix de l'électricité	DZD/kWh	2,8

Sommaire

Électricité - pompe	MWh	3,6
Chaleur fournie	MWh	11,5
Taux de recouvrement de la charge	%	72%

Modèle énergétique Analyse des coûts Analyse des émissions Analyse financière Ar

Ready

Figure IV. 5 : Simulation pour le cas d'une industrie

IV. Interprétation des résultats :

Le système solaire est dimensionné par des capteurs plans à vitrage parce que leur coût est modéré ainsi qu'il peut opérer à la pression d'eau de la ville.

On simule trois différents cas (bureaux, maison, industrie) pour une température d'entrée d'eau froide définie par l'utilisateur $T_{EF} = 17^{\circ}\text{C}$, et température d'eau chaude à la sortie ($T_{EC} = 50^{\circ}\text{C}, 65^{\circ}\text{C}, 80^{\circ}\text{C}$).

Les figures IV. 3, IV. 4, et IV. 5 présentent les résultats des calculs pour le cas de bureaux, d'une maison individuelle, et d'une usine industriel, Ils ont été obtenus à l'aide de logiciel *RETScreen*, le logiciel calcule la surface de capteurs nécessaire selon des paramètres individuels au choix, simule le comportement de l'installation et donne des informations sur le taux de couverture solaire, et les économies de combustible.

Tableau IV. 1 : Résultats de simulation

	Bureau à 50°C	Maison à 65°C	Industrie à 80°C
L'énergie nécessaire annuelle [MWh]	0,2	4,06	16
Choix du capteur	VitoSol 100 S 2	VitoSol 100-5m	VitoSol 100-F SH2
Nombre de capteur	1	2	6
Surface de captage [m ²]	2,72	8,17	24,94

V. Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté l'essentiel de notre travail, la simulation de l'installation solaire sous le logiciel *RETScreen* en différents régimes de fonctionnement, compter le nombre des capteurs et leur surface de captage pour évaluer la production d'énergie nécessaire.

CONCLUSIONS GENERALES

Le travail présenté dans ce mémoire s'intéresse principalement à l'étude de systèmes solaires, il comporte une étude détaillée des capteurs solaires qui le composent.

D'un point de vue pratique, cette installation solaire, s'avère une solution idéale pour l'alimentation en eau chaude des régions isolées et enclavée, en prenant en compte évidemment du minimum requis, qui est d'avoir un potentiel solaire suffisamment important pour couvrir la demande en énergie du site.

La problématique traitée dans ce travail (comme cela a été mentionné au début) s'intéresse à l'exploitation du maximum de puissance dans les capteurs, et par conséquent, la diminution des pertes d'énergie et augmenter le rendement globale de l'installation de production de la chaleur.

L'étude théorique du système stipule la traduction en langage mathématique du système, c'est pourquoi une modélisation mathématique du système global a été effectuée, chaque élément du système est représenté par une équation mathématique qui le régit.

Après l'étape de l'étude théorique et la modélisation mathématique du système, il est judicieux de connaître le comportement et la réponse du système en régime de fonctionnement normal avant sa mise en œuvre pratique. Pour cette raison, un modèle du système solaire thermique a été réalisé sous le logiciel *RETScreen*, les différentes analyses du système ainsi que les résultats de la simulation ont été présentées, on a conclu cette section par la discussion et l'interprétation des résultats de la simulation.

En fin, mon travail de mémoire a permis d'une part de mieux comprendre la conversion d'énergie solaire en énergie thermique, et d'autre part la simulation plus complète des projets de chauffage solaire et cela me paraît une ouverture très intéressante pour la poursuite de ce travail.

Annexes

Tableau de l'inclinaison du soleil

Signe positif (+) Soleil au nord d'équateur céleste; signe négatif (-) soleil au sud d'équateur céleste.

Day	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	-23°04'	-17°20'	-7°49'	+4°18'	+14°54'	+21°58'	+23°09'	+18°10'	+8°30'	-2°57'	-14°14'	-21°43'
2	-22°59'	-17°03'	-7°26'	+4°42'	+15°12'	+22°06'	+23°05'	+17°55'	+8°09'	-3°20'	-14°34'	-21°52'
3	-22°54'	-16°46'	-7°03'	+5°05'	+15°30'	+22°14'	+23°01'	+17°40'	+7°47'	-3°44'	-14°53'	-22°01'
4	-22°48'	-16°28'	-6°40'	+5°28'	+15°47'	+22°22'	+22°56'	+17°24'	+7°25'	-4°07'	-15°11'	-22°10'
5	-22°42'	-16°10'	-6°17'	+5°51'	+16°05'	+22°29'	+22°51'	+17°08'	+7°03'	-4°30'	-15°30'	-22°18'
6	-22°36'	-15°52'	-5°54'	+6°13'	+16°22'	+22°35'	+22°45'	+16°52'	+6°40'	-4°53'	-15°48'	-22°25'
7	-22°28'	-15°34'	-5°30'	+6°36'	+16°39'	+22°42'	+22°39'	+16°36'	+6°18'	-5°16'	-16°06'	-22°32'
8	-22°21'	-15°15'	-5°07'	+6°59'	+16°55'	+22°47'	+22°33'	+16°19'	+5°56'	-5°39'	-16°24'	-22°39'
9	-22°13'	-14°56'	-4°44'	+7°21'	+17°12'	+22°53'	+22°26'	+16°02'	+5°33'	-6°02'	-16°41'	-22°46'
10	-22°05'	-14°37'	-4°20'	+7°43'	+17°27'	+22°58'	+22°19'	+15°45'	+5°10'	-6°25'	-16°58'	-22°52'
Day	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
11	-21°56'	-14°18'	-3°57'	+8°07'	+17°43'	+23°02'	+22°11'	+15°27'	+4°48'	-6°48'	-17°15'	-22°57'
12	-21°47'	-13°58'	-3°33'	+8°28'	+17°59'	+23°07'	+22°04'	+15°10'	+4°25'	-7°10'	-17°32'	-23°02'
13	-21°37'	-13°38'	-3°10'	+8°50'	+18°14'	+23°11'	+21°55'	+14°52'	+4°02'	-7°32'	-17°48'	-23°07'
14	-21°27'	-13°18'	-2°46'	+9°11'	+18°29'	+23°14'	+21°46'	+14°33'	+3°39'	-7°55'	-18°04'	-23°11'
15	-21°16'	-12°58'	-2°22'	+9°33'	+18°43'	+23°17'	+21°37'	+14°15'	+3°16'	-8°18'	-18°20'	-23°14'
16	-21°06'	-12°37'	-1°59'	+9°54'	+18°58'	+23°20'	+21°28'	+13°56'	+2°53'	-8°40'	-18°35'	-23°17'
17	-20°54'	-12°16'	-1°35'	+10°16'	+19°11'	+23°22'	+21°18'	+13°37'	+2°30'	-9°02'	-18°50'	-23°20'
18	-20°42'	-11°55'	-1°11'	+10°37'	+19°25'	+23°24'	+21°08'	+13°18'	+2°06'	-9°24'	-19°05'	-23°22'
19	-20°30'	-11°34'	-0°48'	+10°58'	+19°38'	+23°25'	+20°58'	+12°59'	+1°43'	-9°45'	-19°19'	-23°24'
20	-20°18'	-11°13'	-0°24'	+11°19'	+19°51'	+23°26'	+20°47'	+12°39'	+1°20'	-10°07'	-19°33'	-23°25'
Day	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
21	-20°05'	-10°52'	0°00'	+11°39'	+20°04'	+23°26'	+20°36'	+12°19'	+0°57'	-10°29'	-19°47'	-23°26'
22	-19°52'	-10°30'	+0°24'	+12°00'	+20°16'	+23°26'	+20°24'	+11°59'	+0°33'	-10°50'	-20°00'	-23°26'
23	-19°38'	-10°08'	+0°47'	+12°20'	+20°28'	+23°26'	+20°12'	+11°39'	+0°10'	-11°12'	-20°13'	-23°26'
24	-19°24'	-9°46'	+1°11'	+12°40'	+20°39'	+23°25'	+20°00'	+11°19'	-0°14'	-11°33'	-20°26'	-23°26'
25	-19°10'	-9°24'	+1°35'	+13°00'	+20°50'	+23°24'	+19°47'	+10°58'	-0°37'	-11°54'	-20°38'	-23°25'
26	-18°55'	-9°02'	+1°58'	+13°19'	+21°01'	+23°23'	+19°34'	+10°38'	-1°00'	-12°14'	-20°50'	-23°23'
27	-18°40'	-8°39'	+2°22'	+13°38'	+21°12'	+23°21'	+19°21'	+10°17'	-1°24'	-12°35'	-21°01'	-23°21'
28	-18°25'	-8°17'	+2°45'	+13°58'	+21°22'	+23°19'	+19°08'	+9°56'	-1°47'	-12°55'	-21°12'	-23°19'
29	-18°09'	-8°03'	+3°09'	+14°16'	+21°31'	+23°16'	+18°54'	+9°35'	-2°10'	-13°15'	-21°23'	-23°16'
30	-17°53'		+3°32'	+14°35'	+21°41'	+23°13'	+18°40'	+9°13'	-2°34'	-13°35'	-21°33'	-23°12'
31	-17°37'		+3°55'		+21°50'		+18°25'	+8°52'		-13°55'		-23°08'

Caractéristiques de l'eau

T °C	ρ kg/m ³	C_P J/kg.K	u w/m.k
0	1000	4220	0.555
35	994	4175	0.626
50	988	4175	0.645
65	980	4182	0.659
80	972	4199	0.668
100	958	4216	0.680

Préfixes usuels

k	kilo	10 ³
M	méga	10 ⁶

Les unités en énergétique

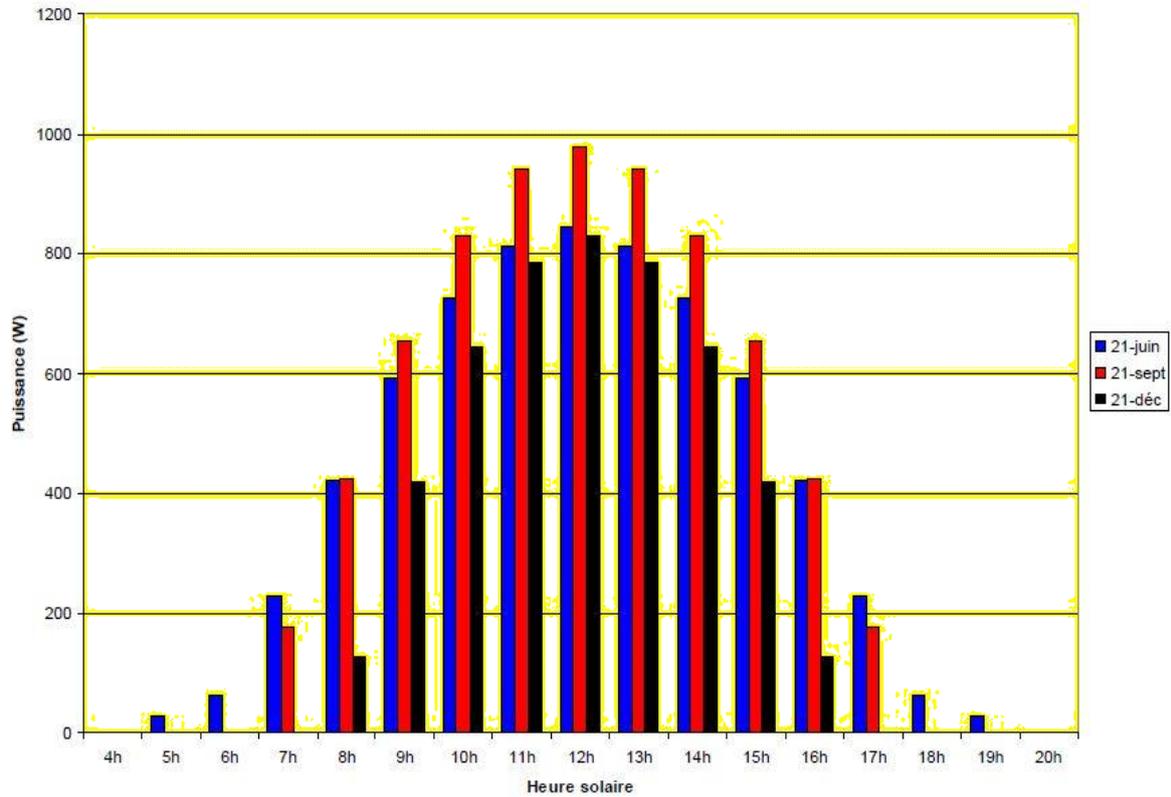
Energie	Symbole	Equivalent en joules
Joule	J	1
Gaz naturel	<i>m³ de GN</i>	3.767 10 ⁷
Kilowattheure	kWh	3.6 10 ⁶

Chiffres clés sur l'énergie solaire

(Source : [i.3])

Surface installée en 2010 dans les pays de l'UE en fonction de type de capteur en milliers de m ²				
Pays	Vitré	Non vitrés	Sous vide	total
Allemagne	675	90	135	900
Grèce	157.9	9	2.2	169.1
Autriche	160			160
France	38	8		46
Danemark	22	3.4		25.4

Puissance maximale sur un plan incliné à 45° orienté plein sud



- La puissance maximale atteinte en hiver est équivalente à celle qu'on peut obtenir en été, Ce qui change entre l'été et l'hiver n'est donc pas la puissance maximale, mais la durée du jour.

Bibliographie

Ouvrages édités

A

ASHRAE, Applications Handbook. 1997

Appleby, Evaluation of the Contribution to the energetic needs provided by the solar system. 1978

B

Beckman, J. A. and Duffie, Solar Engineering of Thermal Processes, 2nd Edition. 1991

Bernard J., Energie Solaire Calculs et Optimisation, Edition Ellipses. 2004

Buzas J., et al. «Modelling and Simulation of a Solar Thermal System». 1998

C

M. Capderou, 'Atlas Solaire de l'Algérie, Aspect Energétique', O.P.U. 1999

Carbirol/Pelissou Le chauffe eau solaire 1995.

R.Cheilan et al. American Society of Heating, Refrigerating and Air. 1980

Capolongo, D., Diodato, Conditioning Engineers. 1998

D

S.Diaf. Energies Renouvelables Vol. 9. 2006

Dumon/Masson Energie solaire et stockage d'énergie. 2002

G

O.Gergaud. Calcul d'installations solaires à eau. 2001

L

Luis A., Medinelli Sanino.Ricardo A.,Rojas Reischel ., «Modeling and identification of solar energy water heating system incorporating nonlinearities». 2009

Lebru M. évaluation des performances thermiques réelles des champs de capteurs. 1985

N

Nafey A., S., «Simulation of Solar Heating Systems-an Overview». 2005

T

Tricaud/Pyc. Atlas énergétique du rayonnement solaire. 1996

Sites web

On trouvera d'autres renseignements sur les sites suivants :

[i. 1] www.23dd.fr/energie/les-energies10-2012

[i. 2] www.kelwatt.fr/energie.php

[i. 3] www.energie-ren.com

