

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : Des sciences

DEPARTEMENT : Physique

N° :



DOMAINE : Sciences de la Matière

FILIERE : Physique

OPTION : Énergie Solaire

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par: BELOUADAH Amel

Intitulé

**Étude Technico – Économique d'un Projet de
Chauffage Solaire**

Soutenu le 25 /05 /2017 devant le jury composé de:

Pr. SIABDALLAH Mayouf	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Président
Dr. SALMI Mohamed	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Rapporteur
Dr. BENMANSOUR Nadia	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur
Dr. FRIDJA Djamal	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur

Année universitaire : 2016/2017

Je dédie ce mémoire:

À ma très chère mère qui a été la lumière de ma vie

Et mon père

A mes chères sœurs

A mon cher frère

A ma sœur Mariem Achouri

A ma sœur Hadjer Ben toumi

A toute ma famille et ma grande famille, pour tous les efforts et les sacrifices qu'ils me présentent.

Et Mon encadreur Mr. SALMI Mohamed

A tous mes amis sans exception.

Pour conclure, je le dédie à:

A mon classe 2^{em} année master physique option énergétique et à

tous

ce qui m'ont aimé et m'ont respecté

Belouadah Amel

Remerciement

Je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience qui m'a permis d'accomplir ce modeste travail.

Je tiens en premier à exprimer ma grande gratitude envers mon encadreur Dr. Mohamed SALMI maitre de conférences à l'Université de M'sila, qui m'a apporté son aide et ses valeureux conseils pour l'accomplissement et le suivit de ce travail.

Je remercie également Pr. Mayouf SIABDALLAH, Dr. Nadia BENMANSOUR et Dr. Djamal FRIDJA, d'avoir accepté de participer à mon jury de mémoire de cette mémoire.

*Et je présente mes sincères remerciements à tout le personnel
Et je présente mes sincères remerciements à tout le personnel qui
m'a aidé à la Réalisation de ce travail.*

Table des matières

Table des matières

Introduction	1
Chapitre 1 : L'énergie solaire	3
1.1 Le soleil	4
1.1.1 Définition	4
1.1.2 Structure du soleil	4
1.1.3 Origine de l'énergie solaire	5
1.1.4 Constante solaire	6
1.2 Influence de l'atmosphère terrestre sur le rayonnement solaire	8
1.2.1 La masse atmosphérique	8
1.2.2 Composition de l'atmosphère	9
1.2.3 Absorption de la radiation solaire	10
1.2.4 La phénomène de diffusion du rayonnement solaire	11
1.3 Le rayonnement solaire instruments de mesure	11
1.3.1 Le rayonnement direct	12
1.3.2 Le rayonnement diffus	12
1.3.3 Le rayonnement global	12
1.4 L'ensoleillement	13
1.4.1 Durée d'ensoleillement	13
1.4.2 Taux d'ensoleillement	13
Chapitre 2 : Le chauffage solaire	14
2.1 Conversion thermique	15
2.2 Application thermique de l'énergie solaire	15
2.3 Utilisation de l'énergie solaire dans le chauffage de l'habitat	16
2.3.1 Principe du chauffage solaire	16
2.3.2 La chauffage solaire l'habitat	17
2.3.3 Systèmes de chauffage solaire par circulation d'eau chaude	17
2.3.4 Les chauffe-eau solaire individuels et collectifs	18
2.3.5 Systèmes solaire combinés pour le chauffage de l'habitat	19
2.4 Capteur solaire thermique	21
2.4.1 Définition du capteur solaire thermique	21
2.4.2 Les types de capteur	22
2.5 Le fluide caloporteur	28
2.6 Bilan thermique	28
Chapitre 3 : Analyse de projet de chauffage solaire par le logiciel RETScree	30
3.1 L'énergie solaire en Algérie	31

3.1.1 Quelques projets réalisés	31
3.2 Le logiciel RETScreen	32
3.2.1 Description	32
3.2.2 Donnée des produits	32
3.2.3 Modèle énergétique	33
3.2.4 Donnée mensuelle	33
3.3 Application aux sites Algériens	34
3.3.1 Sites choisies	34
3.4 Résultats	36
3.4.1 Production et consommation d'énergie	36
3.4.2 Analyse des coûts	41
Conclusion	45
Bibliographie	46

Introduction

Introduction

Les besoins énergétiques de l'humanité n'ont pas cessé de croître avec son évolution: on a utilisé d'abord des ressources naturelles telle que le charbon, le bois et par la suite avec le progrès scientifique, le pétrole, le gaz, l'énergie hydraulique et l'énergie nucléaire.

Actuellement les énergies fossiles sont consommées bien plus rapidement qu'elles ne se forment dans la nature et selon les estimations, les réserves mondiales seront épuisées vers 2030 si la consommation n'est pas radicalement modifiée et au plus tard vers 2100 si des efforts sont fournis concernant la production et la consommation nécessaire.

Cette forme d'énergie étant limitée dans le temps, il s'avère nécessaire de trouver une autre solution pour prendre le relais, la contrainte imposée est d'utiliser d'autres sources d'énergies, tout en tenant compte des factures économiques et environnementales. L'énergie solaire qui est l'objectif de notre étude se caractérise par une absence de pollution et une disponibilité exceptionnelle.

D'autre part, les systèmes d'exploitation qui utilisent cette forme d'énergie demandent une légère maintenance et présentent une bonne fiabilité de fonctionnement, une autonomie de plus en plus accrue, une résistance extrême aux conditions naturelles (température, humidité, vent, corrosion,Etc.) donc une grande longévité, il apparaît dès lors que l'énergie solaire peut apporter de réelles solutions.

Cette source d'énergie est utilisée de manières différentes, par exemple; dans les systèmes thermiques (chauffe -eau solaires), pour la production d'eau chaude, domaine où elle connaît un développement considérable particulièrement dans le secteur de l'habitat. Le dimensionnement des systèmes à chauffe-eau solaires occupe une fonction déterminante, en effet la gestion de cet élément est fonction de plusieurs paramètres :

- Les besoins de l'utilisateur en quantité d'eau chaude.
- La température de l'eau chauffée.
- Les conditions climatiques locales.
- Les performances du système à capteurs plans.

L'énergie solaire présente certains avantages non négligeables sur les autres sources énergétiques, elle est locale, gratuite, propre, silencieuse et durable. Les premières tentatives d'exploitation de l'énergie solaire utilisaient l'interaction rayonnement matière, c'est-à-dire l'échauffement d'un corps noir au soleil.

L'énergie solaire peut être utilisée sur toute la surface de la terre ou presque, il suffit donc de capter celle-ci et de l'utiliser. Aujourd'hui, nous captons l'énergie solaire pour chauffer les maisons et l'eau et pour produire de l'électricité et cela au moyen de trois différentes méthodes et technologies: l'énergie photovoltaïque, l'énergie solaire passive et l'énergie solaire active.

Pour contribuer au développement des systèmes photo thermique en Algérie, on a utilisé le logiciel RETScreen pour estimer la production annuelle d'énergie et rendement et coût de projet par les systèmes photo thermiques installés dans les régions de, Alger port, Tamanrasset et Biskra. Notre travail est organisé comme suit:

Dans le premier chapitre on a fait un résumé sur l'origine du rayonnement solaire et les phénomènes physiques qui y sont liés.

Le second chapitre à caractère bibliographique présente l'énergie solaire et ses différentes applications pour l'activité humaine. Un bref historique sur le chauffage solaire, ainsi que sur les différentes techniques de chauffage solaire d'habitat, sera également exposé.

Dans le dernier chapitre, nous présentons les systèmes photo thermiques en Algérie le logiciel RETScreen qu'on a utilisé pour estimer l'énergie thermique produite à partir de l'énergie solaire.

Enfin, on termine par une conclusion où les synthèses des travaux effectués ainsi que les principaux résultats obtenus sont mentionnés.

CHAPITRE 1

L'ÉNERGIE SOLAIRE

1.1 Le soleil

1.1.1 Définition

Sur le plan humain cette étoile a une importance primordiale puisque sans elle la vie n'existerait pas sur terre. C'est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène, ses caractéristiques physiques principales sont données dans le tableau 1.1.

L'énergie du soleil provient des réactions thermonucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564.10^6 tonnes d'hélium, la différence de 4 millions de tonnes est dissipée sous forme d'énergie ($E = mc^2$), ce qui représente une énergie totale de 36.10^{22} KW [1].

Caractéristique	Valeur
Masse	$1.989.10^{30}$ Kg
Diamètre	$1.392.10^9$ m
Masse volumique moyenne	1410 Kg/m ³
Puissance rayonnée	$3.83.10^{26}$ W
Température superficielle	5770 °K
Vitesse de déplacement	216 Km s ⁻¹

Tableau 1.1 : Caractéristiques principales du soleil

1.1.2 Structure du soleil

Le soleil, peut être découpé en plusieurs couches concentriques, sa structure est schématisée dans la figure 1.1. On distingue quatre zones particulières, le noyau, la photosphère, la chromosphère et la couronne.

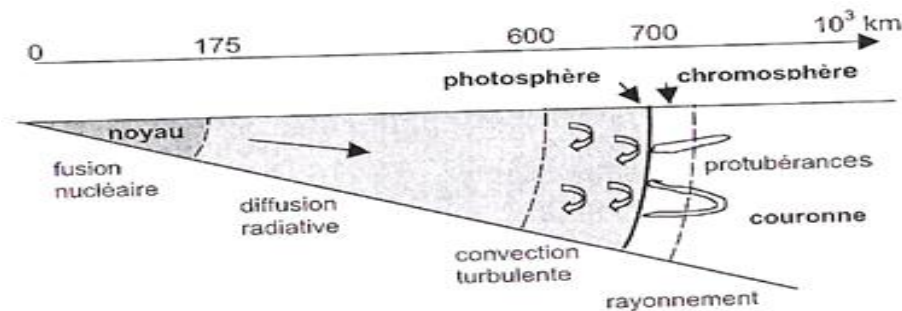


Figure 1.1 : Coupe schématique du Soleil

Les réactions nucléaires de fusion se produisent dans le noyau du soleil, en libérant ainsi une énergie très considérable. Les réactions sont assurées grâce aux caractéristiques importantes du noyau, sa densité très élevée ($\cong 10$ Kg/m³), sa température énorme de 15 millions de degrés celsius ainsi que sa pression de 2.10^{11} bars. La densité diminuant avec l'éloignement à un quart du rayon solaire, soit 175.00km environ.

L'énergie produite se propage par diffusion radiative puis par convection turbulente jusqu'à la photosphère d'où elle s'échappe sous forme de rayonnement électromagnétique vers l'espace.

1.1.3 Origine de l'énergie solaire

L'énergie solaire provient de la fusion d'hydrogène en hélium au sein du noyau de notre étoile. Deux cycles ont été imaginés par les astrophysiciens pour décrire les étapes conduisant à cette fusion [2].

a) Le cycle Proton –Proton

Le cycle proton -proton fournit 90% de l'énergie solaire. Les réactions nucléaires régissant ce cycle sont données par les équations suivantes.



La notation (${}^1_1\text{H}$) représente le noyau de l'atome d'hydrogène 1, c'est-à-dire un proton. Il y a émission de positrons β^+ (rayonnement bêta), de neutrinos ν_e et de photons γ (rayonnement électromagnétique).

b) Le cycle du carbone

Le cycle de carbone fournit les 10% restants de l'énergie solaire a été découvert par Hans Bethe et Carl von Weizsäcker en 1938. Les réactions faisant intervenir le carbone et l'azote forment un cycle; celui-ci reste répétitif tant que subsiste la présence de l'hydrogène: la série de transformation est représentée par les réactions ci-dessous:



Ce cycle peut être schématisé par le diagramme ci-dessous.

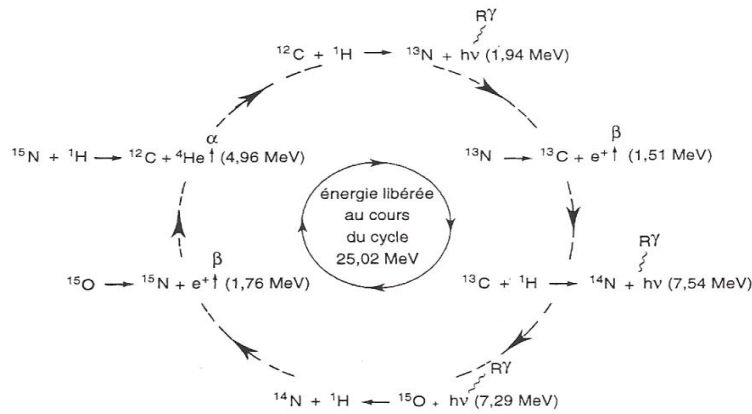


Diagramme de cycle du carbone

1.1.4 Constante solaire (I_0)

La valeur moyenne du flux solaire reçu un moyen plan perpendiculaire d'un mètre carré de surface et placé à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre est appelée constante solaire, notée I_0 . Cette valeur déterminée à partir des mesures réalisées à l'aide de ballon, de fusées ou des satellites. La valeur moyenne annuelle est $I_0=1353 \text{ W/m}^2$ confirmée par les travaux de Thekaekara; duncan qui ont proposé la valeur de 1367 W/m^2 . Cette valeur est en fonction de la distance terre - soleil, qui varie quelque peu au cours de l'année.

Le tableau 1.2 indique les valeurs de la constante solaire pour le 1^{er} jour de chaque mois, et l'écart relatif du flux solaire par rapport à cette constante solaire.

Date du 1 ^{er}	Flux solaire (w/ m^2)	Ecart relatif (%)
Janvier	1399	+3.40
Février	1394	+3.03
Mars	1379	+1.92
Avril	1354	+0.07
Mai	1333	-1.48
Juin	1312	-3.03
Juillet	1308	-3.33
Août	1312	-3.03
Septembre	1329	-1.77
Octobre	1350	-0.22
Novembre	1373	+1.48
Décembre	1392	+2.88

Tableau 1.2: Valeurs du flux solaire à la limite de l'atmosphère terrestre

En première approximation, on peut calculer la valeur de E en fonction du numéro du jour de l'année j par :

$$E = E_0 [1 + 0,033 \cos (0,984j)] \quad (1.10)$$

On trouvera sur la figure 1.2 la répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère.

On notera que 98 % du rayonnement solaire est émis dans les longueurs d'onde entre 0 et 4 μm , en première approximation, le rayonnement solaire peut être assimilé au rayonnement d'un corps noir à une température de 5777 °k.

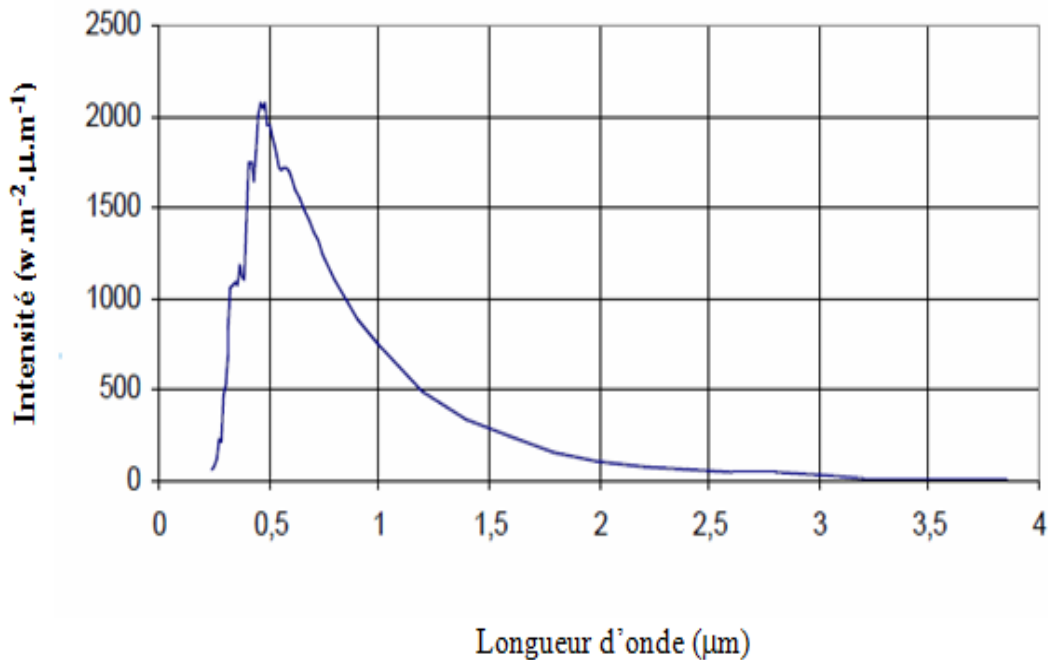


Figure 1.2: Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère

La terre est située à 150 millions km du soleil, celui-ci émit en permanence une puissance de 1026 w sous forme de rayonnement et la terre reçoit 178 millions de watt sur sa face éclairée, soit 350 w par m² à l'équateur. Le rayonnement solaire est un rayonnement électromagnétique composé essentiellement par [3]:

- de la lumière visible de longueur d'onde comprise entre 0,38 μm et 0,78 μm .
- du rayonnement infrarouge (IR) de longueur d'onde supérieure à 0,78 μm .
- du rayonnement ultraviolet (UV) de longueur d'onde inférieure à 0,38 μm .

1.2 Influence de l'atmosphère terrestre sur le rayonnement solaire

1.2.1 La masse atmosphérique

Pour tenir compte du trajet parcouru par les photons, on utilise la notion de masse atmosphérique, encore appelée masse de la distance optique atmosphérique; elle est définie à partir de l'unité d'épaisseur atmosphérique prise verticalement au niveau de la mer, elle est égale au rapport, noté. En considérant la figure 1.3 ci-dessous, où l'atmosphère est une couche d'épaisseur constante et au sol supposé horizontal on a [4]:

$$m_h = \frac{1}{\sin h} \quad (1.11)$$

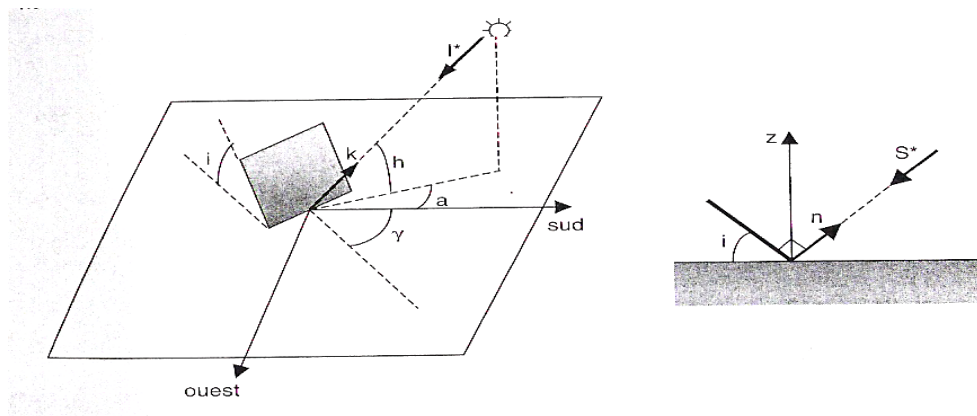


Figure 1.3: mesure de la masse atmosphérique

Pour le soleil au zénith ($h=90^\circ$), $m_h=1$ (AM1=Air Mass One en anglais) et pour le soleil vu sous un angle $h=30^\circ$, $m_h=2$ (AM2). Le cas $m_h=0$ correspond à l'étude du rayonnement solaire à la limite de l'atmosphère terrestre (référence AM0).

Le tableau 1.3 donne les valeurs de la masse atmosphérique calculée et celle mesurée en fonction de la hauteur du soleil.

L'effet de pénétration du rayonnement solaire dans l'atmosphère terrestre est la fonction de la hauteur du soleil. L'extinction atmosphérique tient essentiellement en compte des phénomènes :

- de diffusion du rayonnement par toutes les particules en suspension.
- de l'absorption par les molécules O_2 , O_3 , H_2O et CO_2 .

Ces deux phénomènes étant fonction de la longueur d'onde du rayonnement. La loi de transmission de celui-ci est décrite par la relation:

$$\phi_t = \phi_i [\exp(-\alpha_\lambda m_h)] \quad (1.12)$$

où

ϕ_t : le flux énergétique transporté par le rayonnement solaire après des parcours atmosphériques m_t .

- ϕ_i : le flux énergétique transporté par le rayonnement solaire hors atmosphère.
- α_λ : le coefficient d'extinction atmosphérique du rayonnement solaire pour la longueur d'onde λ .

h(°)	m_h calculée	m_h mesurée
90	1.000	1.000
70	1.060	1.060
60	1.160	1.154
50	1.310	1.304
40	1.560	1.304
30	2.00	1.995
20	2.924	2.906
15	3.864	3.821
12	4.810	4.716
10	5.759	5.616
6	9.570	8.900
5	11.474	10.461

Tableau 1.3: La masse atmosphérique en fonction de l' hauteur du soleil

1.2.2 Composition de l'atmosphère

L'atmosphère est constituée de trois grandes couches de caractéristiques différentes, qui sont :

- **La troposphère:** comprise entre le sol et 16 km d'altitude; dans cet intervalle la température et la pression décroît. La masse de la troposphère représente les $\frac{3}{4}$ de la masse totale de l'atmosphère qui est de 5.10^{15} Tonne. L'air de la troposphère est renfermé par la vapeur d'eau, du gaz carbonique, des poussières et des cristaux de sel. C'est le siège des nuages, des pluies et des orages.

- **La stratosphère:** la zone entre 16 et 65 km d'altitude. A sa limite supérieure, la stratopause, la pression n'est plus que de 1 mb. La stratosphère comprend des couches à différentes températures dont l'une, particulièrement riche en ozone, présente une température voisine de 0°C. Ce réchauffement est vraisemblablement dû à l'absorption partielle du rayonnement UV émis par le soleil.

- **La mésosphère:** comprise entre 55 et 80 km d'altitude. La pression n'est plus que de 10-2 mb à sa limite supérieure, appelée mésopause.

La figure 1.4 montre l'influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire reçu au niveau de la mer, par ciel clair et pur, la hauteur du soleil étant 30°.

1.2.4 Phénomène de diffusion du rayonnement solaire

On distingue dans l'atmosphère deux types de diffusion: la diffusion de Rayleigh par les particules de diamètre inférieur à la longueur d'onde incidente et la diffusion de Mie par les corpuscules de grand diamètre (aérosols). Un rayon diffusé peut lui même subir une diffusion et ainsi de suite selon la densité et le volume de la matière traversée; c'est la diffusion multiple dont il faut aussi tenir compte. Les directions d'une diffusion moléculaire vers l'avant et vers l'arrière sont privilégiées par rapport à la direction latérale. Par contre, dans le cas d'une diffusion de grosses particules, la plupart des photons seront diffusés vers l'avant dans un angle de 4 degrés autour de la direction incidente.

L'absorption de Rayleigh explique pourquoi le ciel est bleu dans la journée et rouge - orange le matin et le soir lorsque le soleil est bas sur l'horizon. En effet, considérons le soleil à midi; le trajet des rayons lumineux est relativement court. Compte tenu de la loi de Rayleigh, le rayonnement de courte longueur d'onde est plus diffusé par les molécules de l'atmosphère que le rayonnement de grande longueur d'onde; il s'en suit que la lumière bleue ($\lambda=0.47 \mu\text{m}$) est plus diffusée que la lumière rouge ($\lambda=0.67 \mu\text{m}$) et le ciel nous paraît bleu. A l'aurore ou au crépuscule, la même loi s'applique; mais comme le trajet de la lumière est beaucoup plus long, les longueurs d'onde bleues sont diffusées mais aussi absorbées et il ne reste, fortement atténuées, que les grandes longueurs d'onde. La rétine de l'observateur qui fixe le soleil enregistre alors un disque rouge [5].

Enfin, on caractérise l'ensemble des phénomènes d'absorption et de diffusion par un facteur appelé facteur de trouble total.

Le facteur de trouble de Linke T_1 conduit à une évaluation de l'extinction atmosphérique par des molécules gazeuses et les aérosols ; une valeur moyenne est donnée par :

$$T_1 = 2.5 + 16\beta_A + 0.5 \ln \omega \quad (1.13)$$

Le coefficient β_A est appelé coefficient de trouble ou coefficient d'Angström. Ce coefficient caractérise, la clarté du ciel et on a ainsi :

$\beta_A = 0.02$ pour un ciel bleu foncé.

1.3 Le rayonnement solaire et instrument de mesure

C'est une quantité d'énergie provenant du soleil sous forme de rayonnement d'onde. Atteignant une surface par unité de temps et par unité de surface, il est exprimé en watts par mètre carré et composé à trois rayonnements [6]:

1.3.1 Le rayonnement direct : est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications. Il est mesuré à l'aide d'un actinomètre, appelé aussi pyréliomètre que l'on installe de façon que sa surface réceptrice soit orientée perpendiculairement aux rayons solaires [7].

Le rayonnement direct reçu par une surface orientée en permanence vers le soleil et qui reçoit donc le rayonnement solaire sans une incidence normale est désigné par la figure 1.6.

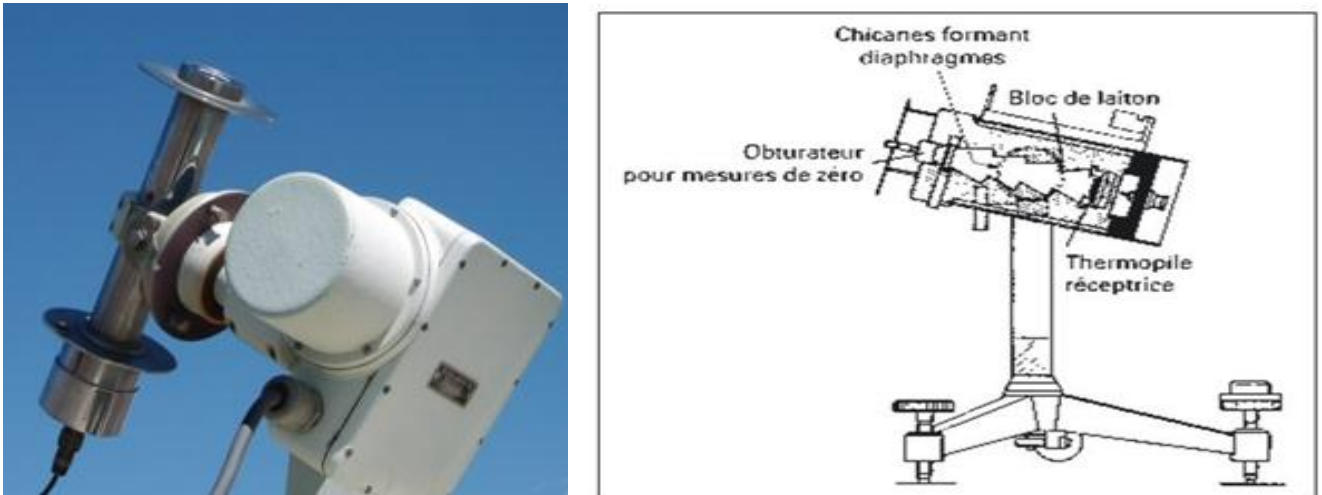


Figure 1.6: Pyréliomètre Eppley

1.3.2 Le rayonnement diffus: dans sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé par les molécules de l'air et les particules en suspension. Le rayonnement solaire diffus n'est donc nul que la nuit .Il n'a pas de direction privilégiée, il peut être mesuré par un Pyranomètre [8].



Figure 1.7: Le Pyranomètre

1.3.3 Le rayonnement global: est la somme du rayonnement direct et diffus, mesuré avec le même instrument qui sert à mesurer le rayonnement diffus, la différence est de mettre la thermopile du pyranomètre en position ouverte vers le ciel y compris de soleil, ceci s'obtient facilement en éloignant l'ombre de la bande pare-soleil de la surface sensible.

La figure 1.8 ci-dessous montre les différentes composantes du rayonnement solaire.

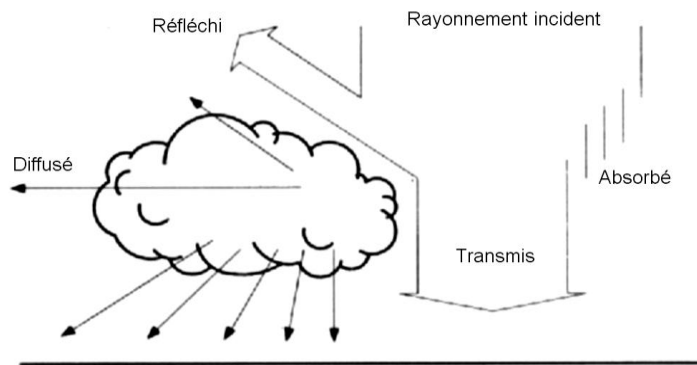


Figure 1.8: Les composants du rayonnement solaire

1.4 L'enseillement

1.4.1 Durée d'enseillement

Les diagrammes de course du soleil, relatifs aux différentes époques de l'année, permettent une estimation directe de la durée d'enseillement d'un site. Cette information sera exploitée pour calculer le rendement des capteurs solaires : il suffira, par simple lecture du diagramme de relever la durée du passage de l'ombre portée des masques du site étudié.

On appelle durée effective d'enseillement ou insolation S , le temps pendant lequel, au cours d'une journée, le rayonnement solaire direct a atteint le sol du lieu considéré.

Nous pouvons mesurer la durée d'enseillement par un dispositif appelé héliographe voir figure 1.9 ci-dessous.



Figure1.9: Héliographe

1.4.2 Taux d'enseillement

Par ciel clair sans nuages, le sol reçoit le rayonnement solaire direct pendant toute la durée du jour, ou plus précisément pendant la durée maximale d'enseillement S_0 . On appelle taux d'enseillement ou taux d'insolation le rapport entre la durée effective et la durée maximale d'enseillement S_0 [9].

$$\sigma = \frac{S}{S_0} \quad (1.14)$$

CHAPITRE 2

LE CHAUFFAGE SOLAIRE

2.1 Conversion photo thermique

Le principe de l'énergie thermique consiste à transformer le rayonnement solaire en énergie thermique grâce à un fluide qui circule dans des panneaux exposés au soleil.

Le thermique solaire est un procédé de transformation de l'énergie solaire en une forme thermique, qu'on peut utiliser:

- En usage direct de la chaleur : chauffe-eau solaire, chauffage solaire, cuisinière et séchoir solaire.
- En usage indirect où la chaleur sert pour un autre usage: centrales solaires thermodynamiques, froid solaire.

Cette forme de conversion d'énergie peut être directe si on veut uniquement chauffer de l'eau sanitaire. Par contre, si on veut générer de l'électricité, il faudra utiliser des générateurs qui convertissent l'énergie thermique générée en électricité (par exemple, moteurs à air chaud) [10].



Figure 2.1: Deux exemples de modules thermiques

2.2 Applications thermiques de l'énergie solaire

Bien que l'exploitation de l'énergie solaire s'intensifie depuis quelques années et que les technologies évoluent sans cesse, les principes et les phénomènes mis en cause sont très bien connus et font aujourd'hui l'objet de large consensus. Le rayonnement solaire a été le sujet de nombreuses études, recherches et discussions, on peut trouver des applications à basse température (chauffage de l'eau, climatisation des habitations, dessalement de l'eau, réfrigération solaire etc.) et des applications à température relativement plus élevée (cuiseurs et fours solaires) nécessitant par conséquent une concentration du rayonnement.

Sans être exhaustif on peut citer :

- Chauffage des piscines.
- L'eau chaude solaire.
- Le chauffage solaire des habitations.
- La distillation solaire.
- La réfrigération solaire.
- La cuisinière solaire.

- Les fours solaires.

2.3 Utilisation de l'énergie solaire dans le chauffage de l'habitat

Historiquement, l'usage de l'énergie solaire afin de chauffer un fluide, ou un matériau est sans doute une des premières voies de l'utilisation du rayonnement solaire. Les premières réalisations notables datent du XVIII^e siècle par l'usage de capteurs à concentration de conception complexe et nécessitant un suivi de la course solaire. L'un des premiers fours solaires conçu par Lavoisier atteignait la température remarquable de 1750 °C et permettait la fusion des métaux courants. Le four comprenait une lentille de 1.32 m de diamètre. Durant le XIX^e siècle, de nombreuses tentatives de réalisation de four solaire visaient la production de vapeur pour alimenter des machines à vapeur pour une production d'énergie mécanique.

En 1910, en Californie, on installait un capteur de 10 m de diamètre pour la production d'énergie mécanique nécessaire à un dispositif de pompage. Après la première guerre mondiale et durant cinquante années, de nombreux travaux ont été réalisés afin d'améliorer la conception des capteurs à concentration et ont abouti à deux familles technologiques distinctes: le système centralisé utilisant un champ d'héliostats, avec focalisation du rayonnement sur un tour, et les systèmes décentralisés (capteur parabolique,...).

Un autre domaine d'intérêt a été la production d'eau chaude pour des usages domestiques dont les premières réalisations ont été obtenues dans les années 1930. L'industrialisation des chauffe-eau solaires a commencé au début des années 1960 et s'est répandue très rapidement dans le monde entier. Le produit le plus courant consistait en capteurs plans fonctionnant en thermosiphon avec un absorbeur de 3 à 4 m², un ballon de stockage d'eau chaude de 150 à 180 l ainsi qu'un ballon de stockage d'eau froide, l'ensemble étant intégré sur un seul support de l'habitat. Aujourd'hui plus de 30 millions de m² de capteurs solaires sont installés dans le monde. Un autre type de chauffe-eau solaire est un système à convection forcée pour lequel les capteurs sont en toiture et le ballon de stockage.

Dans une zone technique du bâtiment. Plus récemment, l'usage de l'eau chaude produite dans les capteurs solaires pour le chauffage des locaux se développe en Europe depuis une dizaine d'années. Cette application prometteuse repose sur le couplage de deux sources thermiques (solaire et appoint provenant d'une chaudière ou d'une pompe à chaleur) et l'usage d'émetteur thermique (plancher chauffant, par exemple) dans le bâtiment fonctionnant à bas niveau de température.

2.3.1 Principe du chauffage solaire

Si le système de chauffage nécessite des pièces mobiles (ventilateur, pompe, électrovanne....) il s'agira d'un système actif. Un tel système nécessite une énergie autre que solaire; en général celle-ci

est électrique vu sa souplesse d'utilisation. Quand la seule énergie utilisée est celle du soleil, cela sera un système passif. Pour le chauffage d'habitation, le fluide caloporteur est soit l'air, soit l'eau.

L'air est utilisé principalement dans les systèmes passifs. On peut en effet se passer facilement d'énergie auxiliaire pour le mouvoir. L'air est chauffé par les capteurs puis envoyé directement dans les pièces d'habitation. Le stockage de l'énergie se fait alors par léchage d'un matériau solide (mur en béton, lit de pierres,...). Il peut cependant être intéressant de recourir à des ventilateurs pour créer une circulation forcée; les puissances mises en jeu sont toujours faibles, de l'ordre de celles nécessaires au fonctionnement d'une VMC (ventilation mécanique contrôlée).

L'utilisation de l'eau nécessite un échangeur. Son avantage réside dans le volume de stockage nécessaire, beaucoup plus faible qu'avec l'air. Dans ce cas on trouvera sur le circuit, une ou plusieurs pompes (circulées), des électrovannes, etc.

2.3.2 Le chauffage solaire de l'habitat

L'avenir du chauffage solaire dépend beaucoup des architectes, qui sont appelés de plus en plus à s'intéresser à ce système de chauffage selon le climat, la situation des bâtiments, leur orientation et leur destination. Pour faire du chauffage solaire, on emploie actuellement des isolateurs plans, ou des «serres capitanes» verticales en façades dans le cas particulier du chauffage par air chaud selon le procédé de F.Trombe et J.Michel.

D'une façon générale, le chauffage est à eau chaude ou à air chaud, les isolateurs étant disposés, selon les cas, sur la toiture ou sur la façade sud, ou même simplement près du sol à l'écart du bâtiment.

Il faut prévoir le stockage de chaleur. Celui-ci peut être fait dans des réservoirs d'eau chaude, ou dans des massifs de maçonnerie ou de pierres, mais l'addition de tels éléments est coûteuse à moins qu'elle ne soit prévue dans la construction. Les réservoirs d'eau chaude bien calorifugés ont des pertes thermiques relativement faibles et la température de l'eau ne baisse pas de plus de 3° à 4°C en 24 heures.

Les systèmes passifs de même que les systèmes actifs de chauffage comprennent essentiellement les parties suivantes :

- Captation.
- Stockage.
- Restitution de l'énergie.
- Contrôles.

2.3.3 Systèmes de chauffage solaire par circulation d'eau chaude

Il existe essentiellement deux dispositifs courant de chauffage solaire par circulation d'eau chaude, les chauffe-eau solaires individuels (CESI) auxquels on peut raccrocher les chauffe-eau solaires collectifs et les systèmes solaires combinés (SSC) pour le chauffage des locaux.

2.3.4 Les chauffe-eau solaires individuels et collectifs

On trouve principalement deux sortes d'installations, le système à thermosiphon (ou direct) et le système à circulation forcée.

a) Système direct

Dans ce système, c'est l'eau chaude sanitaire (ECS) qui circule elle-même dans le capteur, cette circulation s'effectue par thermosiphon. L'eau en passant dans le capteur s'échauffe, crée une dépression qui aspire l'eau la plus dense qui entre dans le capteur. Il faut veiller cependant à ce que la perte de charge du circuit ne soit pas trop importante figure 2.2.

Ce système impose d'installer le ballon de stockage plus haut que le capteur. Celui-ci étant souvent placé en toiture, le ballon de stockage devient le point le plus haut de l'habitation ce qui n'est pas nécessairement recherché. Cette contrainte peut en effet être inacceptable pour des raisons esthétiques.

Pour éviter les pertes thermiques en ligne, il faut veiller à réduire les distances séparant les différents organes. Une bonne isolation thermique des canalisations est recommandée. Par ailleurs, il est nécessaire de prévoir une vase d'expansion pour encaisser les variations de volume de l'eau du circuit avec la température.

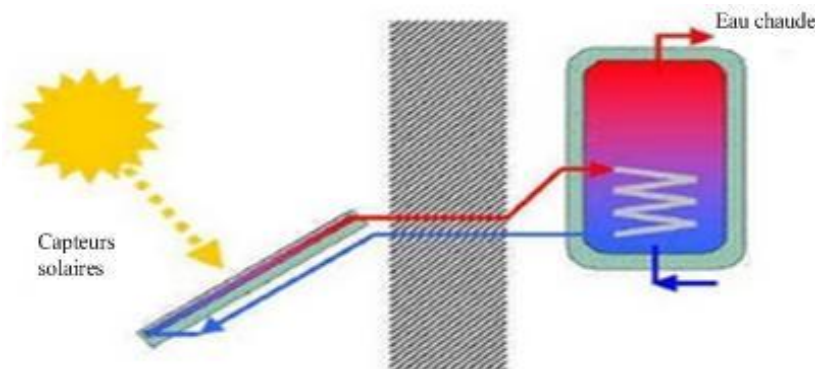


Figure 2.2: Système à thermosiphon

b) Système à circulation forcée

Dans ce système, l'eau qui circule dans le capteur est différente de l'eau chaude sanitaire. On peut donc traiter le fluide caloporteur avec un antigel, un anti corrosif, un antifongique, etc. En contrepartie, un échangeur de chaleur est nécessaire figure 2.3.

Un avantage de ce système est la possibilité d'obtenir dans le ballon de stockage une stratification des couches d'eau à températures différentes. Si une énergie d'appoint s'avère nécessaire, elle devra être apportée en partie haute du stockage. On peut installer ou utiliser une chaudière déjà existante en la plaçant en aval de l'installation solaire. Elle permettra d'élever la température de l'eau chaude du ballon selon les besoins.

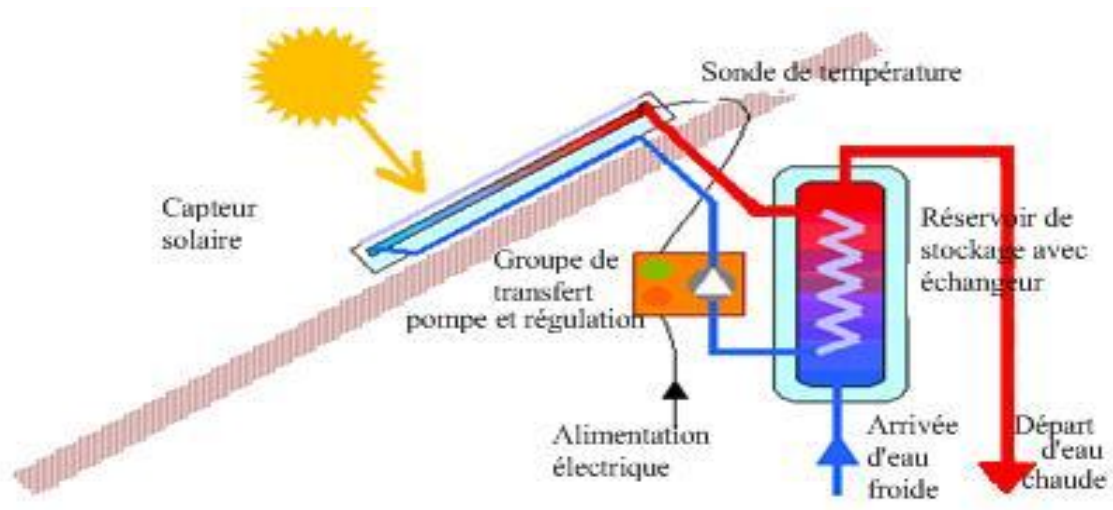


Figure 2.3: Système à circulation forcée

2.3.5 Les systèmes solaires combinés pour le chauffage d'habitat

Les installations solaires qui fournissent à la fois de l'eau chaude sanitaire et une partie du chauffage sont généralement appelées des 'combi-systèmes' ou SSC (systèmes solaires combinés). Ce type de chauffage est le plus souvent associé au plancher chauffant basse température. L'installation peut fournir l'ensemble des besoins en eau chaude sanitaire en période estivale et permet le préchauffage de l'eau en hiver, ce qui réduit la consommation d'énergie. Le complément de chaleur est apporté par un système d'appoint suivant les saisons.

On distingue deux types de système solaire combiné (SSC) :

a) Le système solaire combiné (SSC) avec stockage de l'eau de chauffage en ballon

Ce système est basé sur le stockage de l'eau chaude solaire dans un réservoir afin de restituer la chaleur tout au long la journée. Le fluide caloporteur chauffe l'eau du réservoir et repart vers les capteurs. L'eau du réservoir sert pour alimenter le système de chauffage. L'eau chaude sanitaire est produite dans un ballon immergé ou par un échangeur de chaleur figure 2.4. Il est constitué essentiellement de quatre éléments:

- Des capteurs solaires qui transforment l'énergie solaire en chaleur, souvent disposés en toiture.
- D'un ballon de stockage qui gère le chauffage du bâtiment et la production d'eau chaude sanitaire.
- Une chaudière raccordée au réservoir pour compléter le chauffage si besoin.
- Un ensemble de régulation.

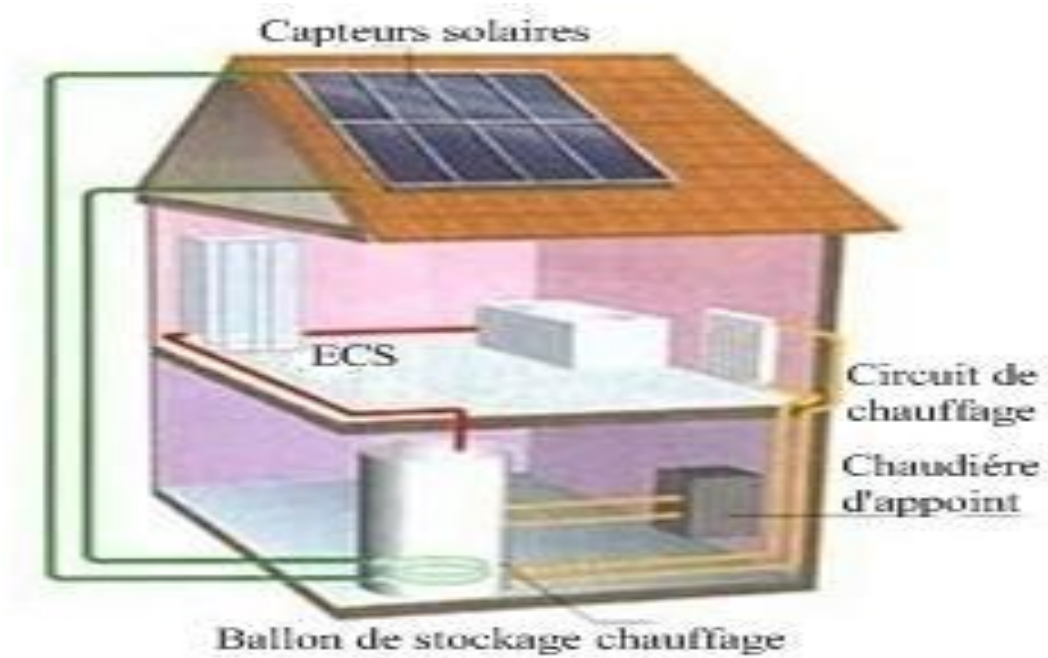


Figure 2.4 : Schéma de fonctionnement d'un SSC

b) Le plancher solaire direct

Le plancher solaire direct (PSD), désigne le type de système solaire combiné le plus répandu à ce jour.

En effet, le fluide caloporteur, (constitué la plupart du temps, d'un mélange d'eau et antigel), chauffé par les capteurs solaires circule directement dans un plancher sans passer par un réservoir de stockage. La masse de béton de sol assure les fonctions de stockage de l'énergie et de déphasage de sa restitution dans le volume chauffé. Un circuit de dérivation permet de produire l'eau chaude sanitaire figure 2.5. Le PSD, dans son principe, offre des atouts décisifs que nous rappelons brièvement:

Stockage thermique de l'énergie solaire dans le plancher en béton, intérieur au volume habitable, inertie thermique importante, régulation simplifiée, généralement réduite à un thermostat différentiel contrôlant un circulateur unique, confort basse température, uniformité de température et de l'air ambiant (avantages des planchers chauffants).

Economie d'investissement importante. Gain d'espace et suppression possible des radiateurs muraux [11].



Figure 2.5: Schéma de fonctionnement d'un PSD

2.4 Capteur solaire thermique

2.4.1 Définition du Capteur solaire thermique

Le capteur solaire thermique (ou capteur héliothermique) est un dispositif conçu pour recueillir l'énergie provenant du soleil. En complément du panneau photovoltaïque qui transforme la lumière en électricité, le capteur solaire thermique récupère l'énergie envoyée par le soleil sous forme de chaleur [12].

.a-Composition des capteurs solaires

Un capteur solaire thermique est constitué généralement d'un coffre rigide et vitré à l'intérieur duquel une plaque et des tubes métalliques noirs (absorbeurs) qui reçoivent le rayonnement solaire et chauffent un liquide caloporteur (antigel).

Il permet de produire de l'eau chaude sanitaire et peut être aussi utilisé pour le chauffage en transformant l'énergie solaire en source de chaleur.

b- Paramètres et caractéristiques d'un capteur

Les différents paramètres et caractéristiques à considérer pour le fonctionnement des capteurs solaires suivants sont:

- Paramètres externes

On ne citera que les paramètres d'ensoleillement les plus importants qui sont le flux global et la durée d'insolation obtenus par des relevés météorologiques à travers tout le territoire.

- Paramètres internes

Parmi ces paramètres, on peut citer : paramètres géométriques, paramètre de position (inclinaison et orientation du capteur).

-Paramètres de fonctionnement

Ces paramètres sont : la température d'entrée du fluide caloporteur dans le capteur, le débit du fluide caloporteur et la température des différentes parties du capteur.

-Les caractéristiques de fonctionnement

Ces caractéristiques nous permettent d'effectuer un choix parmi les différents types des capteurs à savoir :

- La température du fluide soutiré du réservoir (destiné à l'utilisation).
- Le rendement du capteur.
- La puissance thermique du capteur.

L'une des techniques de construction utilisée est la structure sandwich, composée d'une plaque de verre ou de plastique, d'une mince lame d'air entre le verre et d'une surface absorbante noircie. Un fluide coulant dans des tubes noyés dans le collecteur, permet d'évacuer la chaleur. La lame d'air minimise les pertes par réflexion qui minimise les pertes thermiques.

De tels collecteurs peuvent chauffer un fluide entre 40 et 100°C. L'énergie thermique collectée ainsi est adaptée au chauffage des locaux et à la production d'eau chaude sanitaire.

2.4.2 Les types des capteurs

Il existe deux grandes familles de capteurs solaires thermiques, les capteurs plans et les capteurs sous vide.

❖ les capteurs tubes sous vide

Ils se présentent sous la forme d'un panneau où sont alignés des tubes de verre transparents sous vide, un des meilleurs isolants thermiques. Dans chaque tube, un absorbeur capte la chaleur solaire et un échangeur la transmet à un fluide caloporteur figure 2.6. Comme avec les autres capteurs, le fluide va alors circuler vers les points d'utilisation. Grâce à des déperditions de chaleur très faibles, la température peut s'élever jusqu'à 100-140 °C. Ces capteurs sont adaptés aux applications Industrielles nécessitant de hautes températures (nettoyage d'abattoirs, pasteurisation de conserves, etc.).

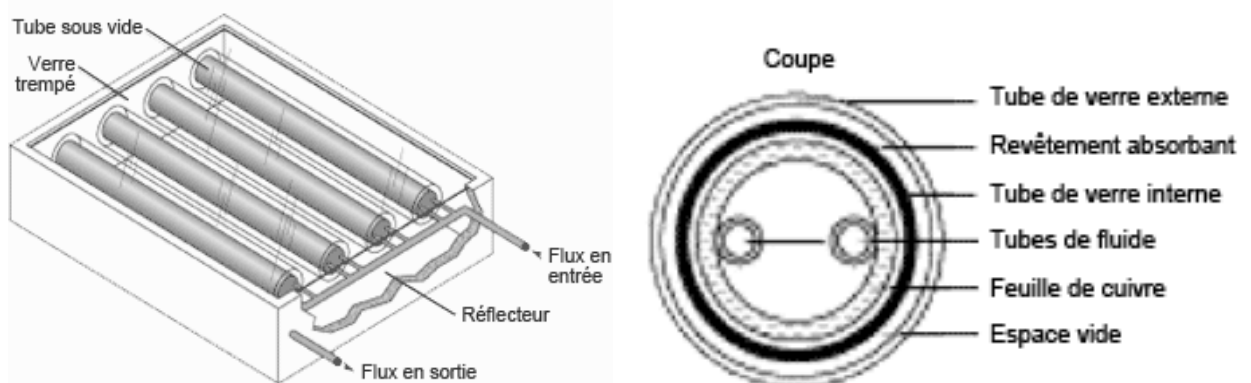


Figure 2.6: Capteur solaire thermique sous vide

Un capteur solaire thermique sous vide est composé :

- d'une série des tubes de verre sous vide (il n'y a pas d'air).
- d'un absorbeur à l'intérieur de tube de verre.
- d'un tube en cuivre à l'intérieur de tube de verre.

Les tubes en cuivre sont parcourus par un fluide caloporteur. Ce dernier se réchauffe au fil de l'écoulement dans les tubes, la figure 2.7 ci-dessous montre le fonctionnement d'un capteur sous vide [13].

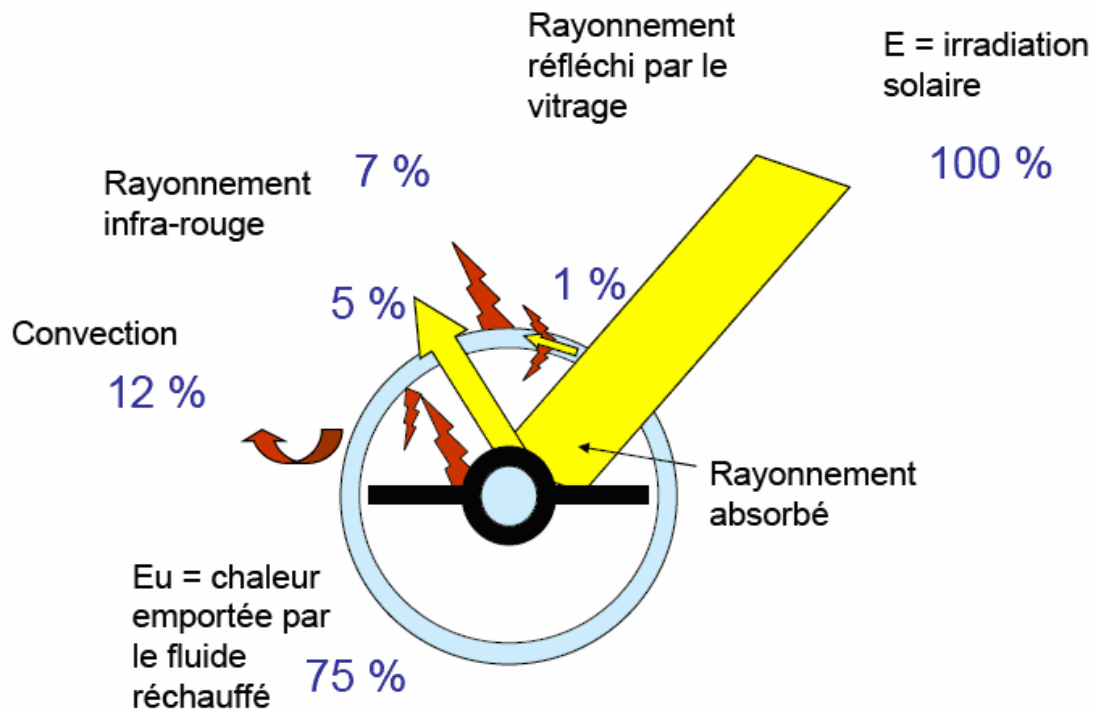


Figure 2.7: Principe de fonctionnement des capteurs à tubes sous vide

❖ Les capteurs plans

a) Définition

Ils comprennent un caisson isolant au-dessus duquel est fixée une vitre en verre ou en plastique. À l'intérieur, une feuille métallique noire absorbe la chaleur du soleil emprisonnée dans le caisson. Cette chaleur est transmise à de l'air, de l'eau ou tout autre fluide caloporteur qui ne gèle pas. Le fluide circule librement ou dans des tuyaux vers le point d'utilisation. L'élévation de température par rapport à l'air ambiant peut atteindre +70 °C. C'est l'idéal pour produire de l'eau chaude domestique ou chauffer des bâtiments, la figure 2.8 ci-dessous montre les composants.

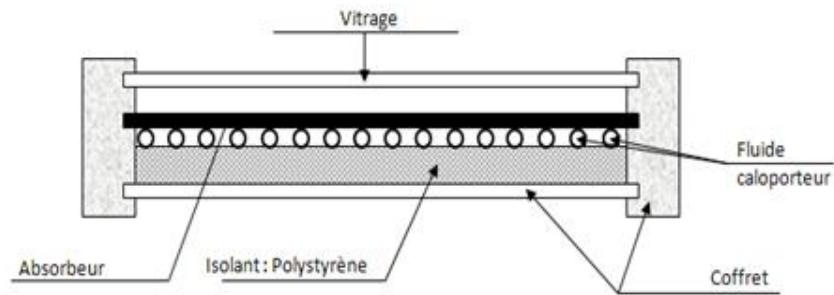


Figure 2.8: Coupe d'un capteur solaire plan à eau

b) Description des capteurs solaires plans

Il existe une grande gamme de capteurs solaires qui permettent de répondre aux différents besoins de chauffage des liquides. Leur choix dépend de la température de besoin et des conditions climatiques pendant la période d'utilisation du système. Bien entendu, plus le niveau de température est élevé, plus les technologies mises en œuvre sont évoluées et plus les coûts de production sont élevés.

Le capteur solaire plan objet de la présente étude est constitué d'un cadre fixe sur lequel sont posés un simple vitrage à l'avant et un isolant à l'arrière. Une feuille métallique noire, sur laquelle est posée une échelle tubulaire, joue le rôle de l'absorbeur qui transmet les calories vers le fluide. En figure 2.9 sont représentés les différents composants du capteur solaire plan étudié.

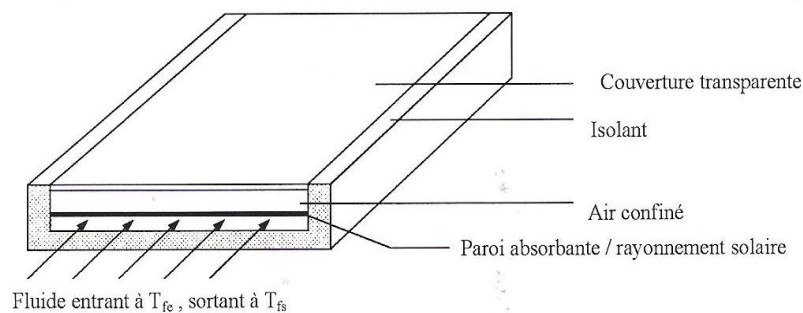


Figure 2.9: Différents éléments d'un capteur solaire plan

-Vitrage:

La vitre solaire avec une grande transmission lumineuse optimise les rendements solaires et résister aux intempéries.

-L'absorbeur :

Feuille métallique noire qui capte la chaleur du rayonnement solaire, il assure deux fonction: absorber la plus grande partie du rayonnement solaire possible, transmettre la chaleur produite vers le fluide caloporteur avec un minimum de pertes.

L'absorbeur doit avoir les caractéristiques suivantes: un bon coefficient l'absorption, une bonne conductivité thermique et une bonne résistance à la corrosion.

Le choix du matériau et le mode de construction à une grande influence sur la qualité du capteur. Du fait de leurs conductivités élevées, les absorbeurs son généralement en cuivre et en acier ou en aluminium.

Au tableau 2.1 sont données les caractéristiques des divers métaux pouvant être utilisés comme absorbeur [14].

.Matière	Conductibilité (w/m °C)	Coefficient de dilatation
Aluminium	230	2,38
Cuivre	380	1,65
Zinc	112	2,9
Acier	52	1,15
Inox	52	1,15
Plastique	0,2-0,4	7-20

Tableau 2.1: Caractéristiques des matériaux utilisés comme absorbeur

Pour diminuer les pertes par rayonnement, les absorbeurs sont souvent revêtus d'une couche sélective. Pour la plupart des capteurs, le revêtement sélectif est obtenu à partir de nickel et de chrome.

Les modes de revêtements les plus courants sont donnés au tableau 2.2

Revêtement	Absorption	Emission
Peinture noire	0,92-0,97	0,95
Chrome noir sur cuivre (sélectif)	0,95	0,14
Chrome noir sur acier (sélectif)	0,91	0,07
Tinox (sélectif)	0,95	0,05

Tableau 2.2: Revêtements des surfaces d'absorbeur

- L'absorbeur à deux fonctions:

Il absorbe la plus grande partie du rayonnement solaire et transmet la chaleur produite vers le fluide caloporteur avec un minimum de pertes.

L'absorbeur est recouvert d'un traitement de surface dit « sélectif » qui a pour fonction d'absorber un maximum de lumière et de réémettre au minimum la chaleur. Le traitement de surface est obtenu par des procédés électrochimiques ou électro physiques (peinture noire, oxyde de chrome, traitement sous vide de couleur bleue).

- Le réseau de canalisation en cuivre:

dans lequel circule le fluide caloporteur de l'eau ou de l'eau additionnée à de l'antigel chauffé par l'absorbeur figure 2.1.

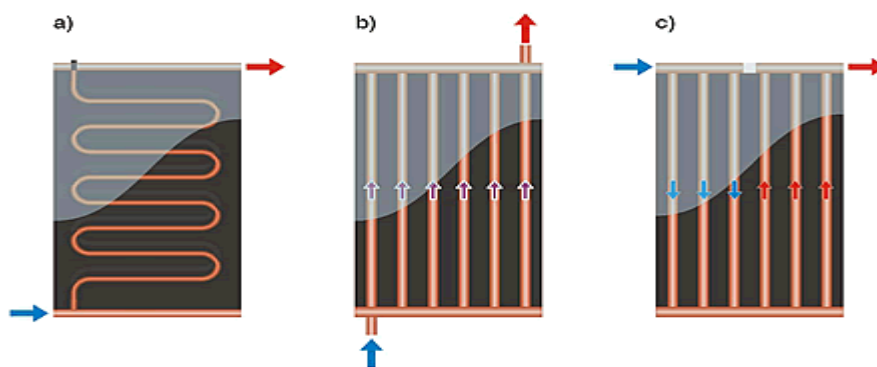


Figure 2.10: Les réseaux de canalisation en cuivre

-Entrée du caloporteur:

Le caloporteur froid s'écoule dans les tubes de circulation pour absorber l'énergie solaire piégée dans le capteur.

-Sortie du caloporteur:

Le caloporteur qui sort du capteur à une température élevée (pouvant atteindre 80 °C environ), est stocké ou utilisé immédiatement.

-L' isolation thermique arrière et latérale:

Les isolants utilisés sont de la laine de verre ou de la mousse polyuréthane de 4 à 8 cm.

Les propriétés des isolants les plus utilisés sont citées au tableau 2.3

Isolant	Conductivité thermique à 500w/m °C max	Température max
Laine de verre	0,041	150
Laine de roche	0,05	150
Polyuréthane	0,027	110
Polystyrène	0,039	85
Liège expansé	0,042	110

Tableau 2.3: quelques propriétés des isolants

-Le coffre du capteur:

C'est une structure sous forme de cadre qui consolide l'ensemble.

c) Les types des Capteurs solaires plans

-Capteurs solaires plans de types vitrés

Les capteurs plans de types vitrés sont très répandus et ils existent sous forme de capteurs à circulation de liquide et sous forme de capteurs à air. Ces capteurs conviennent mieux à des applications à température modérée où la température désirée se situe entre 30 et 70 °C.

Dans ce type de capteur, l'absorbeur plan transforme les rayons solaires en chaleur. Afin de réduire au minimum la perte de chaleur, l'absorbeur est situé entre vitrage (vitre plane ou matériau transparent) et un panneau isolant [15].

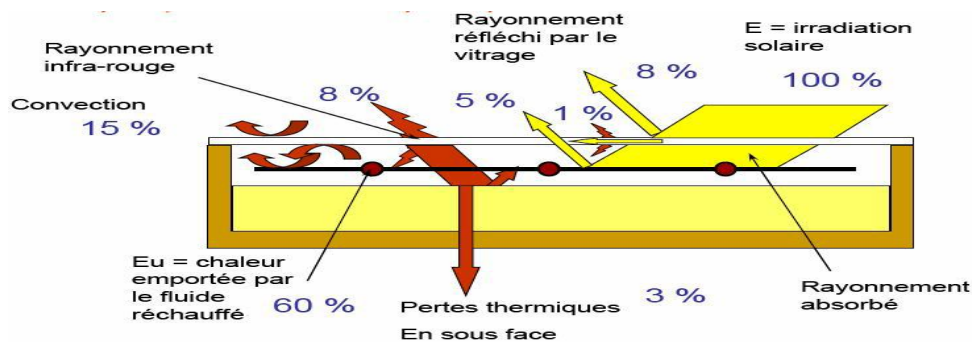


Figure 2.11: Principe de fonctionnement des capteurs plans vitrés

- Capteurs solaires plans sans vitrages

Ces capteurs ne sont pas isothermes, ils conviennent mieux à des applications à basse température, où la température désirée est inférieure à 30°C.

Les capteurs plans sans vitrage sont habituellement fabriqués par un plastique noir qui a été stabilisé afin de résister aux rayons ultraviolets, comme ces capteurs ne possèdent pas de vitrage, une grande partie de l'énergie solaire est absorbée. Cependant, parce qu'ils ne sont pas isothermes, une grande partie de la chaleur absorbée est perdue lorsqu'il y a du vent et lorsque la température extérieure n'est pas assez chaude.

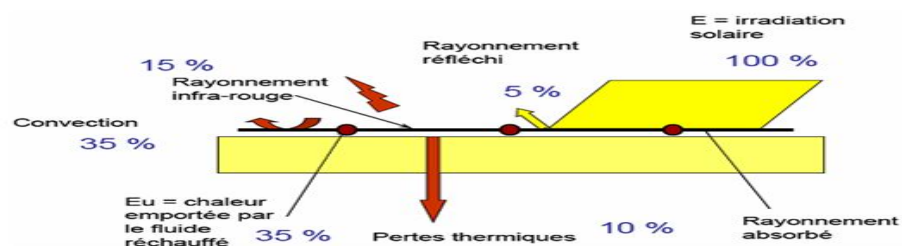


Figure 2.12: Principe de fonctionnement des capteurs plans sans vitrage

2.5 Le fluide caloporteur

Le fluide caloporteur a pour mission de transporter la chaleur de la source à l'utilisation. Le fluide idéal devrait avoir les propriétés suivantes :

Etre assez fluide pour diminuer les pertes de charge; avoir une grande capacité thermique par unité de volume pour transporter la chaleur avec le plus petit débit possible; ne pas être corrosif pour les différentes parties du circuit; supporter les températures limites dans le système -25 à 140 °C pour les capteurs solaires plans, 0 à 110 °C dans les installations de chauffage; ne pas porter atteinte à l'environnement en cas de fuites; être disponible à un prix abordable.

Le fluide le plus utilisé dans les installations de chauffage est l'eau. Ce fluide à une grande capacité thermique, est à bon marché et ne nuit pas à l'environnement. Néanmoins, l'eau peut être corrosive pour certains matériaux (fer, aluminium, par exemple), gèle à 0°C et bout à 100°C à la pression d'un bar et à 140°C à 4 bars. On est ainsi amené à y ajouter de l'éthylène-glycol (ou du propylène-glycol moins toxique) pour abaisser le point de congélation et augmenter le point d'ébullition. Cette addition augmente la viscosité, diminue la capacité thermique, augmente la toxicité et nécessite l'adjonction de passivation pour diminuer l'agressivité corrosive.

Les passivants sont sensibles à la température et peuvent se décomposer. Il convient donc d'analyser périodiquement le fluide pour vérifier sa teneur en agents passivants, surtout si la température d'utilisation est élevée et de compléter son besoin par rapport à l'eau et l'air qui ont des avantages suivants :

- Pas de problème de gel l'hiver ou d'ébullition l'été.
- Pas de problème de corrosion (l'air sec).
- Toute fuite est sans conséquence.
- Il n'est pas nécessaire d'utiliser un échangeur de chaleur pour le chauffage des locaux.

Cependant il présente certains inconvénients, à savoir :

- L'air ne peut servir qu'au chauffage des locaux ou pour le séchage solaire.
- Le produit masse volumique - capacité calorifique est faible ($\rho \cdot C_p = 1225 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$) pour l'air contre $4.2 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$ pour l'eau.
- Les conduites doivent avoir une forte section pour laisser passer un débit suffisant.

2.6 Bilan thermique

a) Calcul le flux utile Q_u

Energie utile extraite du capteur par le fluide caloporteur est:

$$Q_u = Q_{ab} - (Q_c + Q_r + Q_d) \quad (2.1)$$

Q_u : Représente l'énergie réellement utilisable.

Q_{ab} : L'énergie absorbée par l'absorbeur [W/m^2].

Q_c : L'énergie perdue par convection entre l'absorbeur et l'air dans le capteur [W/m^2].

Q_d : L'énergie perdue par conduction à travers l'isolation [W/m^2].

Q_r : L'énergie perdue par rayonnement entre l'absorbeur et le verre [W/m^2].

b) Evaluation de la température de sortie d'eau T_s

Dans le cas d'un capteur plan, la température de sortie de l'eau peut être calculée par :

$$T_s = T_g + \left(\frac{Q_u}{\dot{m} * C_p} \right) \quad (2.2)$$

En sachant que :

$$Q_u = \dot{m} * C_p * (T_s - T_g) = Q_{ab} - (Q_c + Q_r + Q_d) \quad (2.3)$$

T_g : Température de sortie d'eau [$^{\circ}C$].

\dot{m} : Débit d'eau [Kg/s].

C_p : Chaleur spécifique d'eau [$J/Kg. ^{\circ}C$]

c) Calcul du rendement instantané η

Le rendement d'un capteur solaire dont le symbole η est le rapport de la chaleur emmagasinée par le fluide caloporteur sur la puissance incidente reçue par le rayonnement solaire $G_{(i,\gamma)}$.

$$\eta = \frac{Q_u}{G_{(i,\gamma)}} \quad (2.4)$$

Le rayonnement d'un capteur chute au cours de la journée car ses pertes sont la fonction de la différence de température entre l'air ambiant et l'absorbeur; plus cette différence de température augmente, plus le rendement du capteur chute.

Alors :

$$\eta = \frac{\dot{m} * C_p * (T_s - T_g)}{G_{(i,\gamma)}} \quad (2.5)$$

$G_{(i,\gamma)}$: Éclairement globale incident sur le capteur [W/m^2] [16].

CHAPITRE 3
ANALYSE DE PROJET DE
CHAUFFAGE SOLAIRE PAR LE
LOGICIEL "RETSCREEN"

3.1 L'énergie solaire en Algérie

L'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde. 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 2650 kWh/m².an au sud du pays.

Le tableau 3.1 résume le potentiel solaire en Algérie.

Regions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficiés (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (Kwh/m ² .an)	1700	1900	2650

Tableau 3.1: Potentiel solaire

Le total d'énergie reçue est estimé à 169 400 TWh/an, soit 5000 fois la consommation d'électricité annuelle du pays.

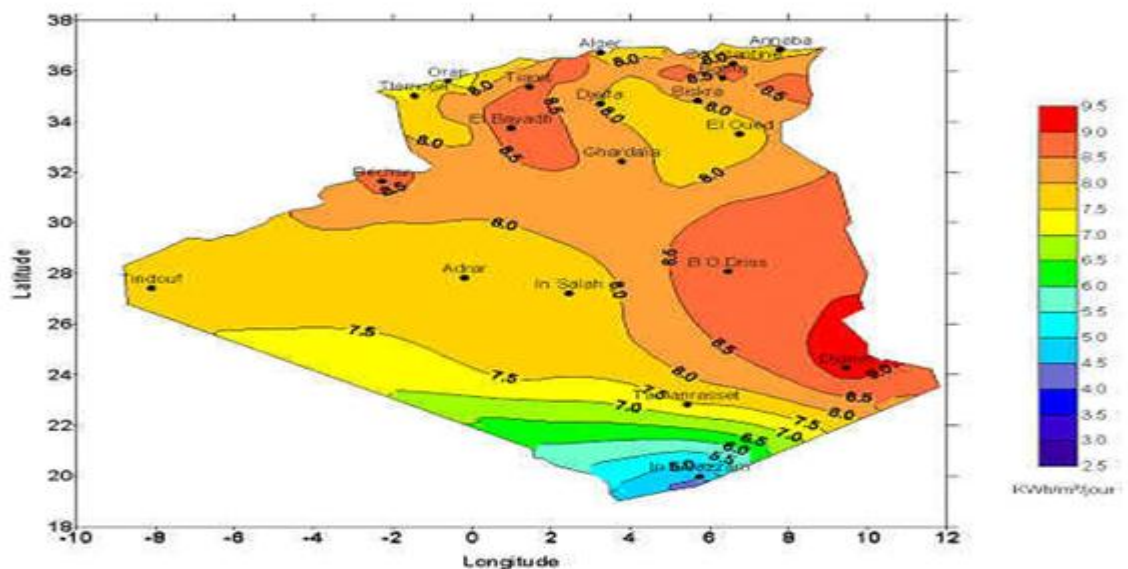


Figure 3.1: Irradiation directe journalière sur plan normal au mois de juillet

3.1.1 Quelques projets réalisés

L'électrification de villages ruraux et l'alimentation électrique d'équipements collectifs sont les deux axes poursuivis par les pouvoirs publics.

Ainsi, près de 1000 foyers, répartis dans 20 villages de quatre Willaya profitent d'un accès à l'électricité depuis 2000, grâce à des kits photovoltaïques. De même une centrale hybride solaire/diesel de 13KW installée à Illizi permet à 300 foyers, soit 2000 personnes, de bénéficier d'un accès à l'électricité.

Les projets portés par le haut commissariat du développement de la steppe (HCDS), établissement public ayant pour mission le développement des zones steppiques et pastorales, ont également permis l'électrification de 3000 foyers, la fourniture de 160 pompes solaires pour une puissance de 240 KW et de 80 pompes éoliennes équivalent à une puissance de 120 KW Les systèmes photo thermiques en Algérie [17].

3.2 Le logiciel RETScreen

3.2.1 Description

Le logiciel RETScreen [92] international pour projets de chauffage solaire de l'eau permet d'évaluer la production d'énergie, la viabilité financière et les réductions d'émissions de gaz à effet de serre (GES) pour trois applications de chauffage : eau domestique, procédés industriels et piscine (intérieur et extérieur). Ceci pour des systèmes allant du résidentiel individuel aux larges systèmes commerciaux, institutionnels et industriels, le logiciel RETScreen contient trois feuilles de calcul :

- ✓ Modèle énergétique.
- ✓ Évaluation de la ressource solaire et calcul de la charge.
- ✓ Analyse des coûts.

3.2.2 Données des produits

Certaines des exigences du modèle en matière de données sur les produits sont présentées dans la base de données de produits en ligne de RETScreen. Pour savoir comment accéder à la base de données de produits en ligne l'utilisateur, peut consulter la section « Accès aux données et à l'aide ». Cette base de données donne des renseignements sur l'équipement associé au projet.

Depuis la boîte de dialogue de la base de données de produits en ligne RETScreen, l'utilisateur peut obtenir des données sur le rendement et les spécifications des produits, ainsi que l'information sur les fournisseurs de ces produits.

La routine de tri de la base de données de produits débute en utilisant le « type de capteurs » sélectionné par l'utilisateur dans la feuille de calcul modèle énergétique. À partir de la boîte de dialogue l'utilisateur sélectionne la région, suivi du fournisseur et du modèle. Les données peuvent être collées depuis la boîte de dialogue dans les feuilles de calcul.

Note: Pour accéder à la liste complète des fournisseurs contenus dans la base de données de produits, et à leurs coordonnées, l'utilisateur doit choisir l'option « Toutes » à partir de la liste déroulante « type de capteurs » de la boîte de dialogue. Par ailleurs, si l'option « toutes » a été

choisie, alors les renseignements contenus dans la boîte de dialogue ne pourront pas être copiés dans la feuille de calcul.

3.2.3 Modèle énergétique

Dans cette section du logiciel RETScreen d'analyse de projets sur les énergies propres, les feuilles de calcul modèle énergétique et évaluation de la ressource solaire et des besoins thermiques aident l'utilisateur à calculer la production annuelle d'énergie d'un système de chauffage solaire de l'eau en fonction des caractéristiques du site et des paramètres du système. Le modèle présente les résultats en mégawatts-heure (MWh) pour faciliter la comparaison entre différentes technologies.

3.2.4 Données mensuelles

Dans cette section, l'utilisateur entre les moyennes mensuelles des données climatiques. On spécifie aussi les mois ou les fractions de mois pendant lesquels le système solaire sera réellement utilisé (par exemple on indiquera 0,25 pour un mois où le système ne sera utilisé qu'une semaine).

Toutes les quantités d'énergie et tous les calculs de coûts de tout le reste du modèle projet de chauffage solaire de l'eau sont basés uniquement sur cette fraction de l'année où le système solaire est utilisé. Cela signifie que les mois où l'on n'utilisera pas le système solaire, ne seront aucunement pris en compte dans l'analyse financière ou dans les bilans énergétiques. La raison est que l'analyse n'est pas affectée pour ces mois puisque qu'il n'y aura ni énergie conventionnelle déplacée, ni production d'énergie solaire à calculer. Pour les mois d'utilisation partielle des équipements, la portion d'utilisation s'applique aussi à tous les autres éléments du bilan d'énergie (voir « portion d'utilisation du système dans le mois »).

Certaines cellules peuvent apparaître sur fond gris pour indiquer que ces valeurs ne sont pas nécessaires aux calculs du modèle. Par exemple, dans le cas d'un chauffe-eau solaire pour la production d'eau chaude sanitaire, on n'a pas besoin des moyennes mensuelles d'humidité relative qui servent uniquement à calculer les pertes thermiques par évaporation d'une piscine extérieure.

Note: Il est très important que l'utilisateur pense à consulter cette section pour vérifier que toutes les renseignements nécessaires au modèle sont bien donnés, en particulier à chaque fois que l'on change le type d'application, le type de capteurs solaires ou le type de piscine, ou encore la méthode de calcul de la température d'eau froide. En effet, en changeant ces paramètres, on change les renseignements nécessaires au modèle, donc les zones de cellules sur fond gris et en italique.

a- Portion d'utilisation du système dans le mois:

L'utilisateur entre les mois pendant lesquels le système solaire sera opérationnel. Les mois où le système n'est pas opérationnel ne seront pris en compte dans aucun calcul financier ni bilan énergétique. Pour chaque mois, l'utilisateur doit donner une valeur comprise entre 0 et 1. Zéro indique que le système solaire a été arrêté pendant tout le mois. 0,5 indique qu'il est opérationnel 50 % du temps (2 semaines environ) et 1 indique qu'il est opérationnel 100 % du temps.

b-Moyenne mensuelle du rayonnement quotidien sur l'horizontale:

L'utilisateur indique, en (kWh/m²)/j, pour chaque mois, la quantité moyenne d'énergie solaire que reçoit chaque jour 1 m² de surface horizontale. Les données en (MJ/m²)/j, BTU/ft² et en cal/cm² divisées respectivement par 3,6 et 317 et 86 pour obtenir des (kWh/m²)/j. Pour plus d'information l'utilisateur peut aussi consulter la base de données météorologique en ligne RETScreen. Cette valeur varie de 0 dans les régions nordiques pendant la nuit polaire, à 8,5 (kWh/m²)/j en été dans les régions de climat tempéré.

c-Température moyenne mensuelle:

L'utilisateur entre, en °C, la température extérieure moyenne mensuelle de chaque mois.

3.3 Application aux sites algériens

3.3.1 Sites choisis

Nous avons choisis trois types des capteurs sans vitrage et vitres et tube sous vide représentant les trois régions: Nord, Nord-est, Sud du territoire algérien. Ces villes sont respectivement:

- 1-Alger
- 2- Tamanrasset
- 3- Biskra

Les coordonnées géographiques de ces sites sont présentées sur le GRG Tableau 3 .1

Station	Longitude (deg)	Latitude (deg) (N)
Alger Port	3 ,05E	36,77
Tamanrasset	5,73E	34,80
Biskra	5,52E	22,8

Tableau 3.2: Coordonnées géographiques des sites

Les valeurs moyennes mensuelles de la température et du rayonnement solaire mesurés reçus pour les différents trois sites sont représentés dans le tableau 3.3.

Site	Alger port		Tamanrasset		Biskra	
	T(°C)	(kWh /m ² /J)	T(°C)	(kWh /m ² /J)	T(°C)	(kWh /m ² /J)
Janvier	12,2	2,15	12,8	5,00	12,2	3,03
Février	12 ,6	2,76	15,00	5,78	12 ,6	3,94
Mars	13,8	4,56	18,1	6,78	13,8	5,00
Avril	16,00	4,96	22,2	7,36	16,00	5,81
Mai	18,5	5,47	26,1	7,53	18,5	6,50
Juin	22,1	6,43	28,9	7,25	22,1	6,97
Juillet	24,3	6,34	28,7	7,53	24,3	7,08
Aout	25,2	5,65	28,2	6,92	25,2	6,61
Septembre	23,2	4,71	26,5	6,00	23,2	5,36
Octobre	20,0	3,06	22,4	5,53	20,0	4,17
Novembre	16,7	2,15	17,3	4,83	16,7	3,14
Décembre	13,9	1 ,69	13,9	4,53	13,9	2,67
Moyenne Annule	18 ,20	4,16	21,82	6,26	18 ,20	4,98

Tableau 3.3: Rayonnement solaire et température des sites

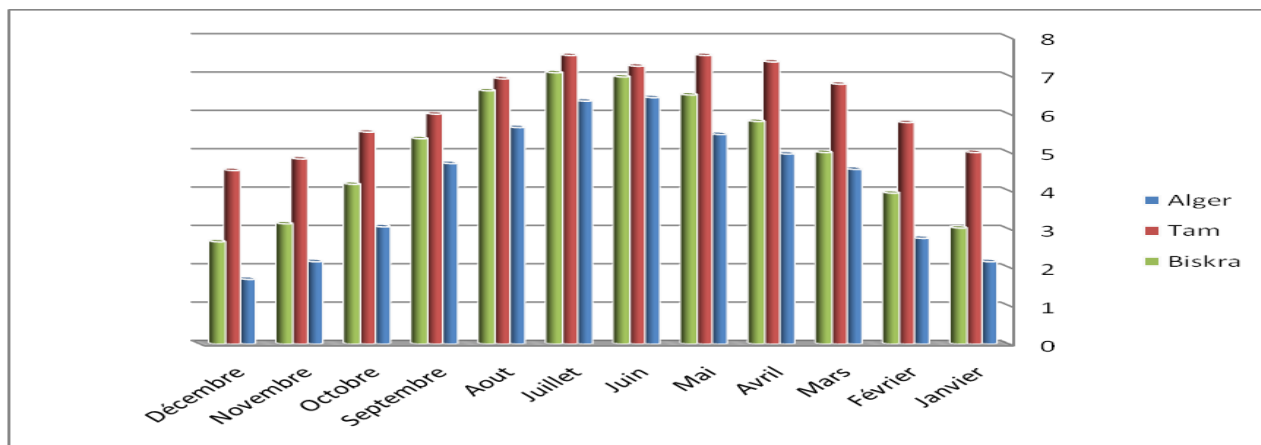


Figure 3.2: Rayonnement solaire des sites

le rayonnement solaire global moyen mensuel, où nous avons utilisé pour Tamanrasset, Alger et Biskra les valeurs du rayonnement et la température moyenne mensuelle obtenue par l'ONM.

3.4 Résultats

3.4.1 Production et consommation d'énergie

Le tableau 3.4 montre les résultats obtenus en utilisant le logiciel RETScreen des trois sites choisis dans notre étude.

a-Type de module capteur sans vitrage

Manufacturier de modules capteur: Energie Solaire /AS.

	Alger port	Tamanrasset	Biskra
Type de module capteur	sans vitrage		
Manufacturier de modules capteur	Energie Solaire /AS		
Rendement saisonnier du chauffe-eau (%)	250		
Température demandée d'eau chaude (°C)	60		
Rayonnement solaire annuel ((kWh /m ² /J)	4,16	6,25	5,02
Température moyenne annuelle (°C)	18 ,20	21,67	21 ,81
Surface de captage par capteur (m ²)	1,86	1,86	1,86
Pertes dues à la neige et aux salissures (%)	20	0	0
Efficacité de l'échangeur de chaleur (%)	90	90	90
Rendement du système solaire (%)	7	22	19
Production annuelle d'énergie au kWh /m ²	72	524	304
Électricité à fournir pour le pompage kWh /m ²	0	0,02	0,01
Énergie renouvelable fournie KWh	1080	7890	4580

Tableau 3. 4: Résultats obtenus en utilisant le modèle énergétique RETScreen

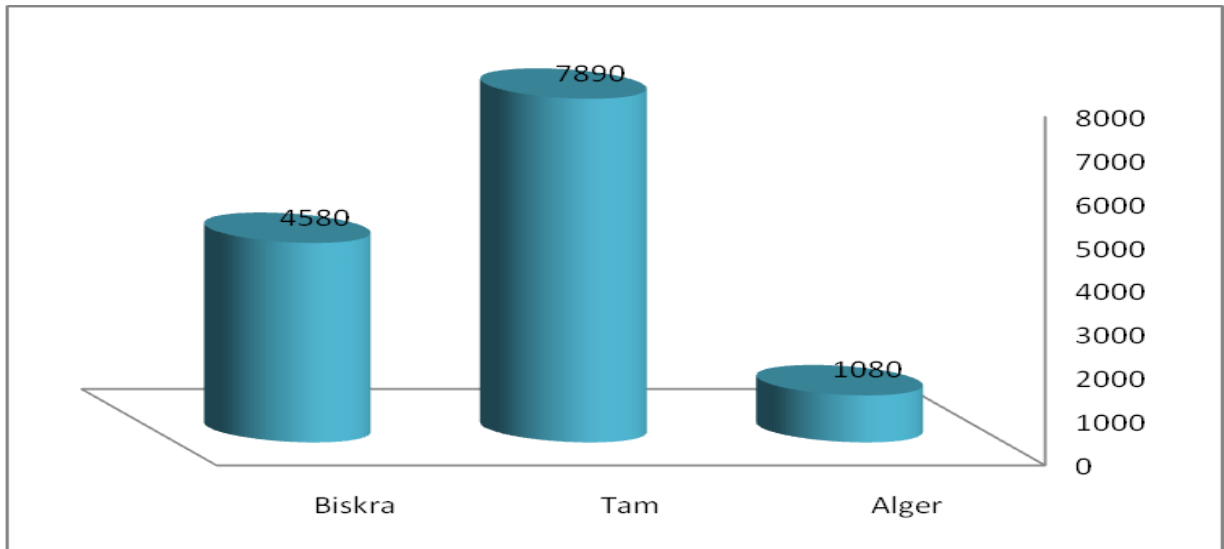


Figure 3.3: Energie renouvelable fournie

Dans cette figure nous montre les énergies renouvelables fournie dans les trois cites où l'on note que: la région de Tamanrasset est estimée à 7890 KWh supérieure à la région de Biskra qui est estimée à 4580 KWh et Alger port qui est estimé à 1080 KWh.

b-Type de module capteur vitrés

Manufacturier de modules capteur Thermo Dynamics G32.

	Alger port	Tamanrasset	Biskra
Type de module capteur	Vitrés		
Manufacturier de modules capteur	Thermo Dynamics /G32		
Rendement saisonnier du chauffe-eau (%)	250		
Température demandée d'eau chaude (°C)	60		
Rayonnement solaire annuel ((kWh /m ² /J)	4,16	6,25	5,02
Température moyenne annuelle (°C)	18,20	21,67	21 ,81
Surface de captage par capteur (m ²)	2,78	2,78	2,78
Pertes dues à la neige et aux salissures (%)	20	0	0
Efficacité de l'échangeur de chaleur (%)	90	90	90
Rendement du système solaire (%)	36	50	49
Production annuelle d'énergie au kWh /m ²	380	1183	798
Électricité à fournir pour le pompage kWh /m ²	0,03	0,05	0,04
Énergie renouvelable fournie KWh	7870	24520	16520

Tableau 3 .5: Résultats obtenus en utilisant le modèle énergétique RETScreen

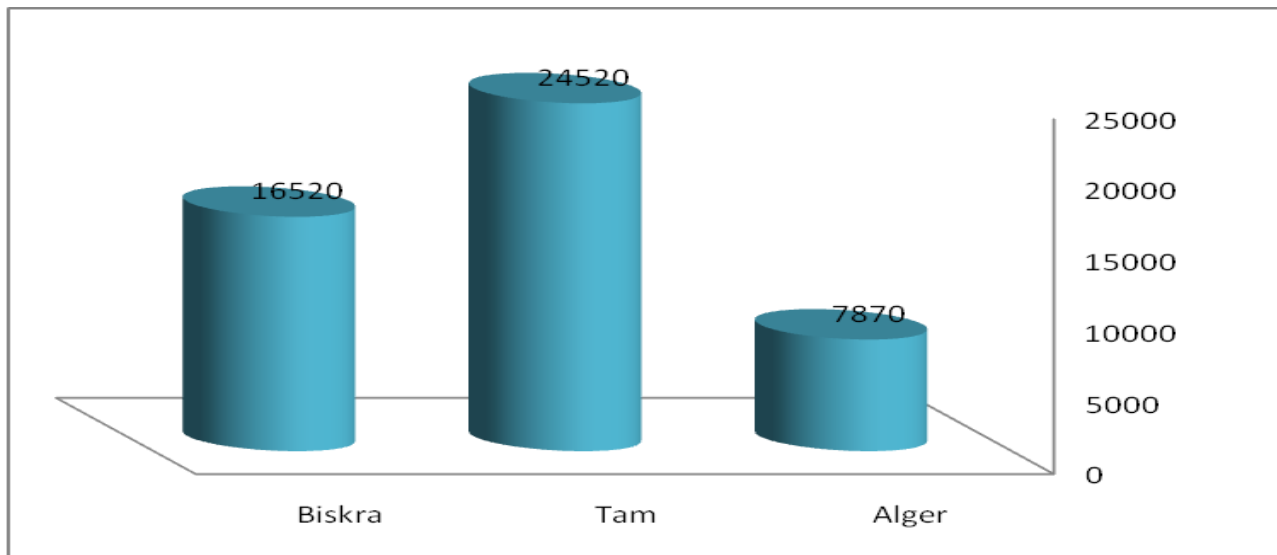


Figure 3.4: Energie renouvelable fournie

Dans cette figure nous montre les énergies renouvelables fournie dans les trois cites où l'on note que: la région de Tamanrasset est estimée à 24520 KWh supérieure à la région de Biskra qui est estimée à 16520 KWh et Alger port qui est estimé à 7870 KWh.

C-Type de module capteur vitrés

Manufacturier de modules capteur Filsol solar FS20.

	Alger port	Tamanrasset	Biskra
Type de module capteur	Vitrés		
Manufacturier de modules capteur	Filsol solar /FS20		
Rendement saisonnier du chauffe-eau (%)	250		
Température demandée d'eau chaude (°C)	60		
Rayonnement solaire annuel ((kWh /m ² /J)	4,16	6,25	5,02
Température moyenne annuelle (°C)	18,20	21,67	21 ,81
Surface de captage par capteur (m ²)	2,01	2,01	2,01
Pertes dues à la neige et aux salissures (%)	20	0	0
Efficacité de l'échangeur de chaleur (%)	90	90	90
Rendement du système solaire (%)	31	43	42
Production annuelle d'énergie au kWh /m ²	328	1028	692
Électricité à fournir pour le pompage kWh /m ²	0,02	0 ,04	0,03
Énergie renouvelable fournie KWh	5030	15770	10610

Tableau 3.6: Résultats obtenus en utilisant le modèle énergétique RETScreen

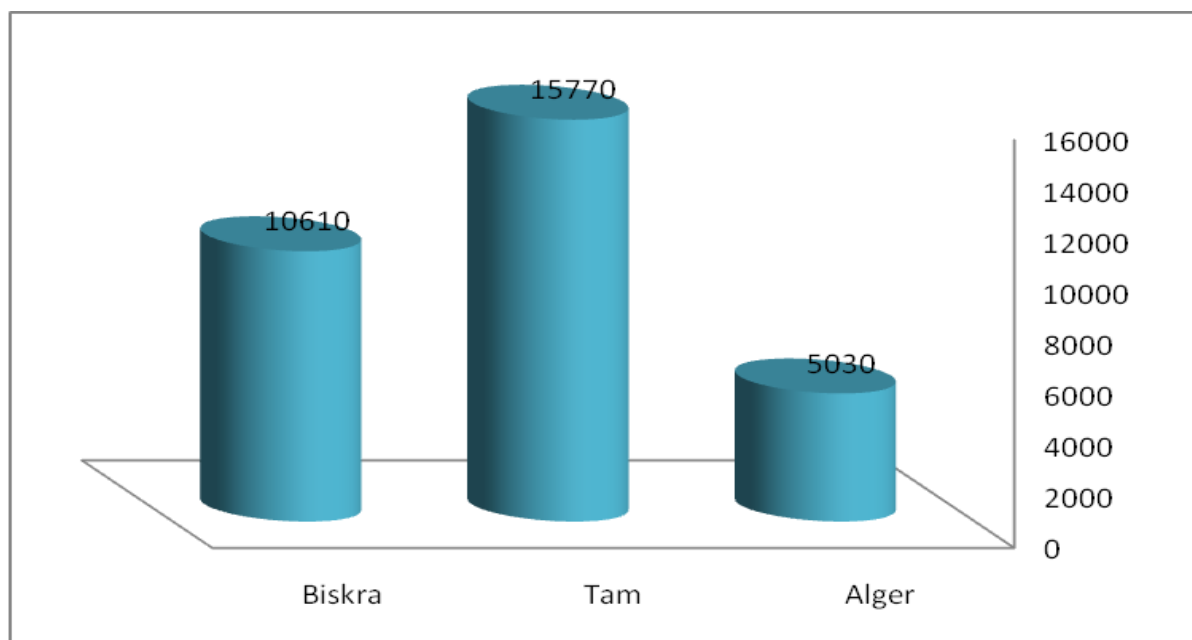


Figure 3.5: Energie renouvelable fournie

Dans cette figure nous montre les énergies renouvelables fournie dans les trois cites où l'on note que: la région de Tamanrasset est estimée à 15770 KWh supérieure à la région de Biskra qui est estimée à 10610 KWh et Alger port qui est estimé à 5030 KWh.

d-Type de module capteur tube sous vide

Manufacturier de modules capteur Hoval Herzog Solamax.

	Alger port	Tamanrasset	Biskra
Type de module capteur	Tube sous vide		
Manufacturier de modules capteur	Hoval Herzog /Solamax		
Rendement saisonnier du chauffe-eau (%)	250		
Température demandée d'eau chaude (°C)	60		
Rayonnement solaire annuel ((kWh /m ² /J)	4,16	6,25	5,02
Température moyenne annuelle (°C)	18,20	21,67	21 ,81
Surface de captage par capteur (m ²)	3,18	3,18	3,18
Pertes dues à la neige et aux salissures (%)	20	0	0
Efficacité de l'échangeur de chaleur (%)	90	90	90
Rendement du système solaire (%)	34	43	43
Production annuelle d'énergie au kWh /m ²	358	1021	701
Électricité à fournir pour le pompage kWh /m ²	0,05	0,09	0,07
Énergie renouvelable fournie KWh	11470	32720	22480

Tableau 3.7: Résultats obtenus en utilisant le modèle énergétique RETScreen

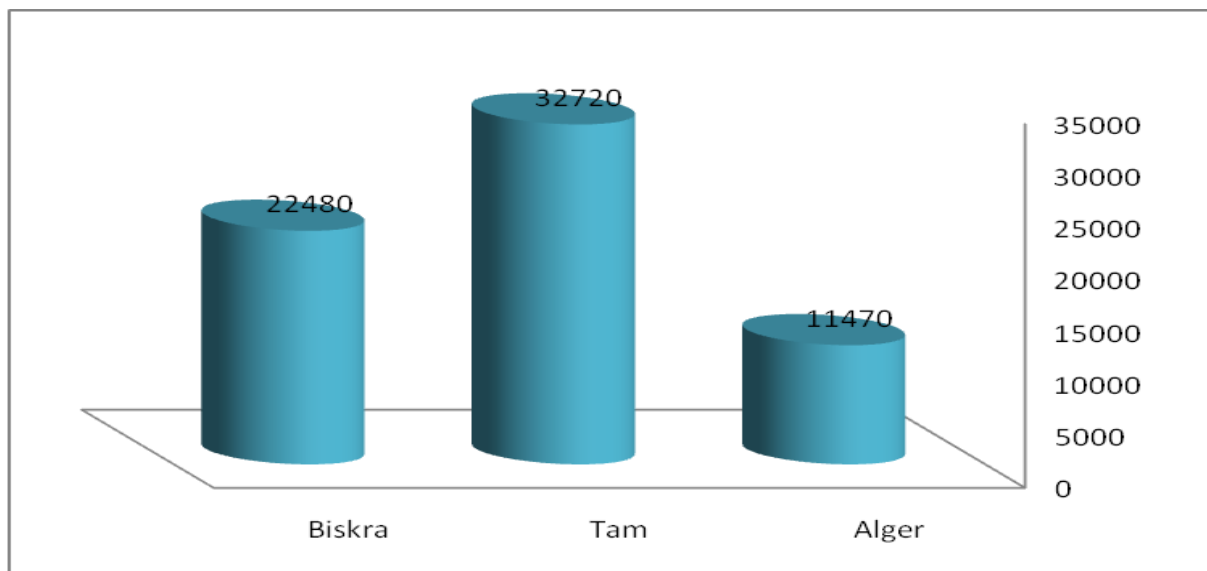


Figure 3.6: Energie renouvelable fournie

Dans cette figure nous montre les énergies renouvelables fournie dans les trois cites où l'on note que: la région de Tamanrasset est estimée à 32720 KWh supérieure à la région de Biskra qui est estimée à 22480 KWh et Alger port qui est estimé à 11470 KWh.

e-Type de module capteur tube sous vide

Manufacturier de modules capteur De Dietrich Thermique / Dietrisol Power.

	Alger port	Tamanrasset	Biskra
Type de module capteur	Tube sous vide		
Manufacturier de modules capteur	De Dietrich Thermique / Dietrisol Power		
Rendement saisonnier du chauffe-eau (%)	250		
Température demandée d'eau chaude (°C)	60		
Rayonnement solaire annuel ((kWh /m ² /J)	4,16	6,25	5,02
Température moyenne annuelle (°C)	18,20	21,67	21 ,81
Surface de captage par capteur (m ²)	0,80	0,80	0,80
Pertes dues à la neige et aux salissures (%)	20	0	0
Efficacité de l'échangeur de chaleur (%)	90	90	90
Rendement du système solaire (%)	32	41	40
Production annuelle d'énergie au kWh /m ²	338	966	664
Électricité à fournir pour le pompage kWh /m ²	0,02	0,03	0,02
Énergie renouvelable fournie KWh	3050	8720	6000

Tableau 3.8: Résultats obtenus en utilisant le modèle énergétique RETScreen

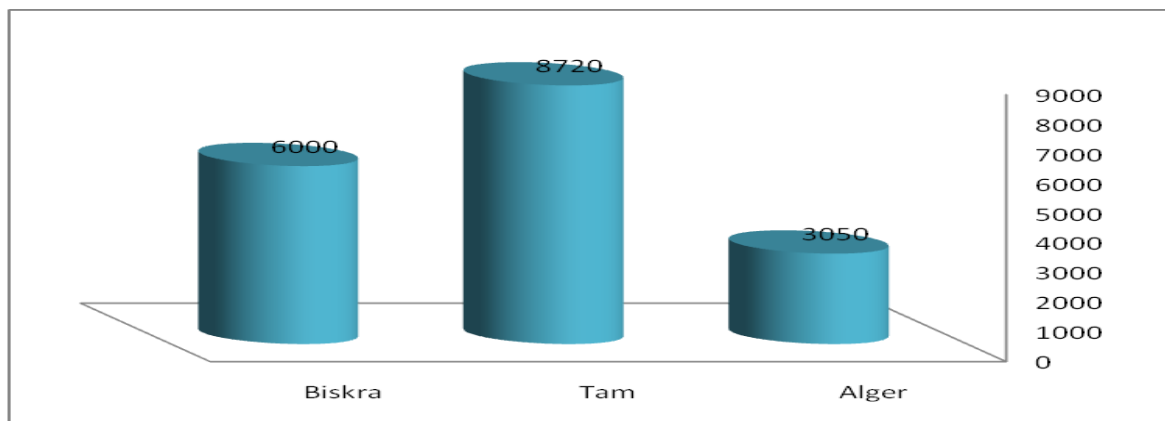


Figure 3.7: Energie renouvelable fournie

Dans cette figure nous montre les énergies renouvelables fournie dans les trois cites où l'on note que: la région de Tamanrasset est estimée à 8720 KWh supérieure à la région de Biskra qui est estimée à 6000 KWh et Alger port qui est estimé à 3050 KWh.

3.4.2 Analyse des coûts

On introduit les prix actuels des équipements solaires et les prix des différentes exploitations dans la fenêtre d'analyse de coût du logiciel RETScreen pour quatre villes, Alger port, Tamanrasset et Biskra) d'un projet investit pour une durée de 25 ans, et les résultats obtenus sont mentionnés dans les trois tableaux.

Équipements et exploitation	PRIX (KDA)		
	Alger port	Tamanrasset	Biskra
Capteur solaire	30		
Ingénierie	20		
Tuyauterie boucle solaire	20		
Pompe	4		
Structure portants	6		
Plomberie et contrôles	5		
Installation des capteurs	2		
Installation tuyauterie	2		
Installation des autres composants	3		
Taxes foncières et assurances	2		
Main d'œuvre	5		
Frais imprévus	2	7	4
Transport	5	15	10
Coût de projet (KDA)	106	121	113

Tableau 3.9: Coûts d'un projet Photo Thermique estimés en utilisant le logiciel RETScreen

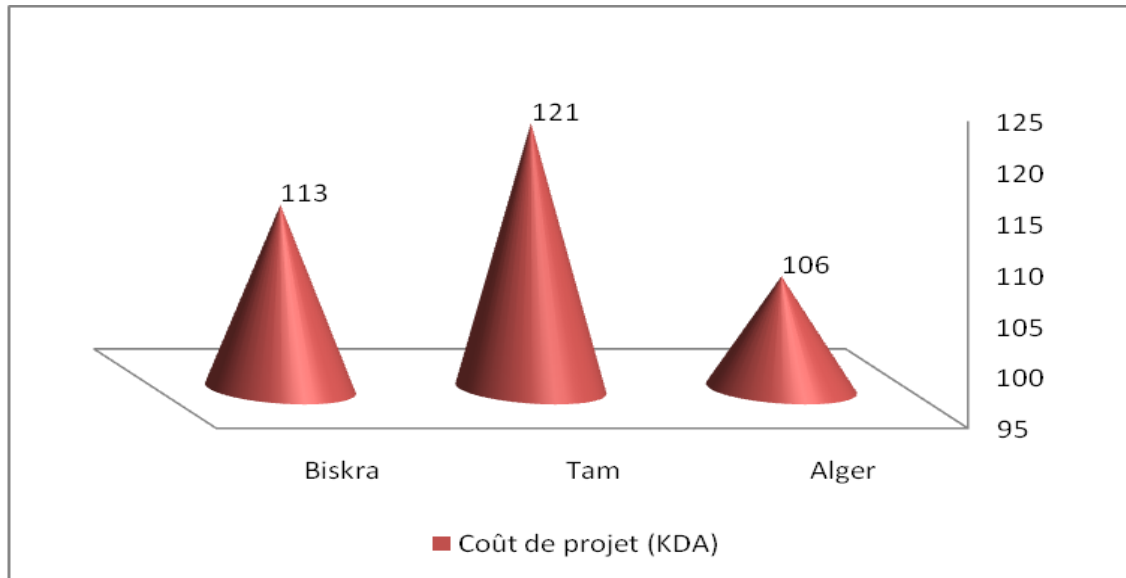


Figure 3.8: Comparaison entre les coûts (en KDA) du projet photo thermique estimés par RETScreen

Équipements et exploitation	PRIX (KDA)		
	Alger port	Tamanrasset	Biskra
Capteur solaire	70		
Ingénierie	20		
Tuyauterie boucle solaire	20		
Pompe	4		
Structure portants	6		
Plomberie et contrôles	5		
Installation des capteurs	2		
Installation tuyauterie	2		
Installation des autres composants	3		
Taxes foncières et assurances	2		
Main d'œuvre	5		
Frais imprévus	2	7	4
Transport	5	15	10
Coût de projet (KDA)	146	161	153

Tableau 3.10: Coûts d'un projet Photo Thermique estimés en utilisant le logiciel RETScreen

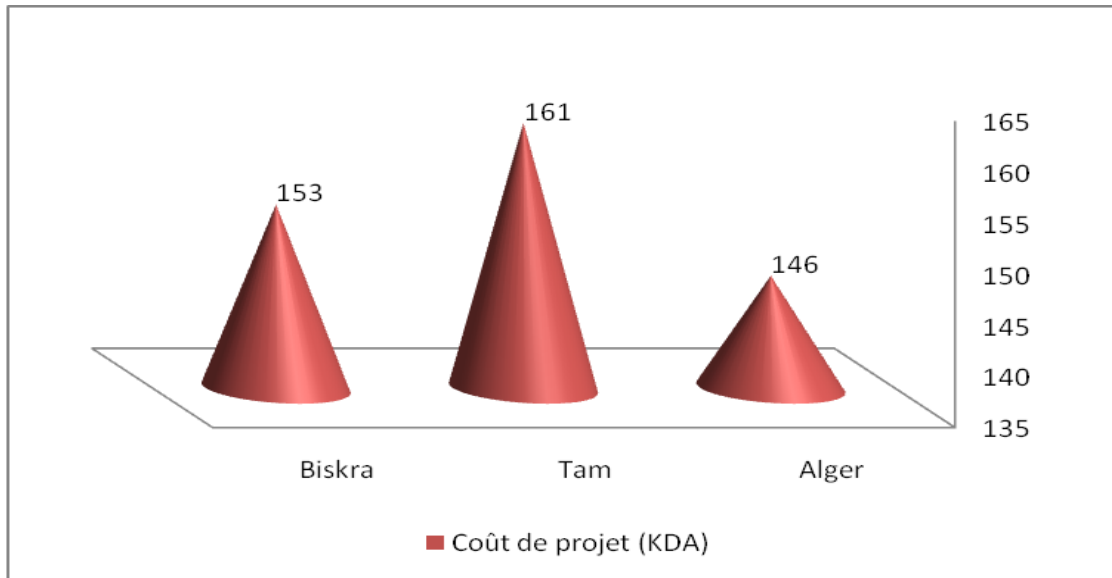


Figure 3.9: Comparaison entre les coûts (en KDA) du projet photo thermique estimés par RETScreen

Équipements et exploitation	PRIX (KDA)		
	Alger port	Tamanrasset	Biskra
Capteur solaire	140		
Ingénierie	20		
Tuyauterie boucle solaire	20		
Pompe	4		
Structure portants	6		
Plomberie et contrôles	5		
Installation des capteurs	2		
Installation tuyauterie	2		
Installation des autres composants	3		
Taxes foncières et assurances	2		
Main d'œuvre	5		
Frais imprévus	2	7	4
Transport	5	15	10
Coût de projet (KDA)	216	231	223

Tableau 3.11: Coûts d'un projet Photo Thermique estimés en utilisant le logiciel RETScreen

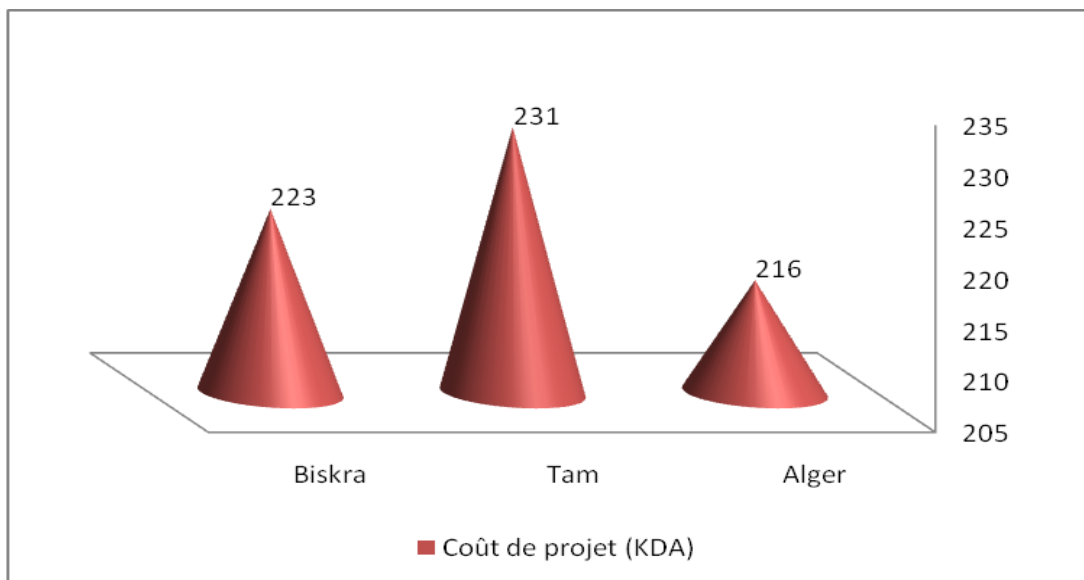


Figure 3.10: Comparaison entre les coûts (en KDA) du projet photo thermique estimés par RETScreen

Conclusion

L'étude sur le potentiel énergétique solaire en Algérie fait apparaître un potentiel considérable pour l'utilisation et l'exploitation de cette forme d'énergie. En effet, l'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m^2 est de l'ordre de 5 KWh sur la quasi-totalité du territoire national, la durée d'insolation quant à elle dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures sur les hauts plateaux et le Sahara.

Les installations de production d'eau chaude solaires sont très rentables en Algérie que ce soit au sud ou en nord. On peut satisfaire jusqu'à 100 % des besoins en eau chaude, si l'installation est bien dimensionnée. Seul l'investissement initial est assez élevé. Mais comme l'énergie utilisée est gratuite, la production se traduit annuellement par des réelles économies. Ce travail contribue au développement du domaine de la production d'eau chaude solaire dans notre pays, par la recherche des systèmes solaires thermique les plus performants de point de vue économie et protection de l'environnement. Il est souhaitable de mettre en place une industrie réelle pour la fabrication des chauffe eau solaires en Algérie, en tenant compte des résultats de recherche.

Une description sommaire a été faite du logiciel RETScreen utilisé dans l'estimation d'énergies renouvelables fournie et les coûts d'un projet photo thermique et du rendement. Nous avons considéré les valeurs du rayonnement solaire dans les trois sites et on a choisis des régions types représentant: Nord, Nord-est, Sud du territoire algérien. Ces villes sont respectivement: Alger port, Tamanrasset, Biskra.

Les résultats d'estimation de l'énergie renouvelable fournie et le rendement du système photo thermique obtenus par simulation avec le logiciel RETScreen pour Tamanrasset, Alger port, et Biskra sont trouvés dans notre étude comme suit :

- Nous avons réalisé un modèle pour estimer l'énergie renouvelable fournie et le rendement et les coûts d'un projet du système photo thermique en Algérie, à partir de l'étude du rayonnement en fonction de l'ensoleillement.
- Les performances des systèmes photo thermique sont fortement affectées par le rayonnement incident, l'insolation et la température.
- L'estimation de l'énergie renouvelable fournie calculée par le logiciel RETScreen était la plus élevée pour la ville de Tamanrasset qui est égale **32720 KWh**.
- Le meilleur rendement du système photo thermique obtenu est **50%** pour la ville de Tamanrasset.
- L'estimation du coût des projets d'installation photo thermique obtenu par le logiciel RETScreen pour les trois sites : Alger port, Tamanrasset et Biskra, est respectivement: **216 KDA, 231 KDA et 223 KDA**.

Bibliographie

- [1] J.M Chassériau, Conversion thermique du rayonnement solaire ; Dunod, 1984.
- [2] R. Bernard ; G. Menguy ; M. Schwartz, Le rayonnement solaire conversion thermique et applications ; Technique et documentation Lavoisier, 2^{ème} édition 1980.
- [3] M. Salmi « Contribution à la quantification de l'irradiation solaire globale en Algérie et applications aux générateurs photovoltaïques ».Thèse de doctorat, Université de SÉTIF, 2012.
- [4] H. Communay, Héliothermique Le gisement solaire Méthodes et calculs. Groupe de Recherche et d'Édition France (2002).
- [5] J V. Etienne, Physique de l'atmosphère; Phénomènes d'absorption et de diffusion dans l'atmosphère. Gautier Villard, Tome 3, Paris (1966).
- [6] Y. N'goran, Contribution à la modélisation du gisement solaire. Thèse de doctorat, Université de Cocody Abidjan (2005)
- [7] A. A. Sfeir, G. Guarracino, Ingénierie des Systèmes Solaire, application à l'habitat. Technique et Documentation, Paris (1981).
- [8] A. Mokhnache, « Détermination des faibles atténuations du rayonnement solaire au sol A partir de l'imagerie satellitaire ». Thèse de doctorat, Univ. Mentouri, Constantine (2002).
- [9] M. El-Metwally, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 67, 1331 (2005).
- [10] https://www.eleves.ens.fr/home/gouzien/Publications/Secondaire/Elie_Gouzien_TPE.pdf
- [11] D.ABBAZ, « Optimisation des paramètres de fonctionnement d'un plancher solaire direct (PSD) » Université de Constantine1 (10/04/2013)
- [12] <http://www.edfenr.com/lexique-photovoltaïque/definition-capteur-solaire-thermique>
- [13] <http://www.thermique55.com/principal/thermiquesolaire.pdf> (consulté mois du Juillet 2009)
- [14] A. Benhammou « Optimisation d'un nouveau système de séchage solaire modulaire pour plantes aromatiques et médicinales ». Thèse de doctorat, Université de Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2010.
- [15] S.A. Kalogirou. "Solar thermal collectors and applications". Progress in Energy and Combustion Science, 30 (2004), pp. 231–295.
- [16] D, K, Edwards. Capteurs solaires, Edition SCM, paris. (1979)
- [17] R. Sellami, M. Abbas, H. Bendjebbas , Installation et étude d'un chauffe-eau solaire couple à un cumulus pour alimenter la cuisine de l'udes en eau chaude, Rapport préliminaire. *Centre de Développement des Energies Renouvelables*, Algérie (2007).

الملخص:

سخان الماء بالطاقة الشمسية هو أحد أهم التطبيقات المهمة في الطاقة الشمسية، لأنه يمس العديد من كيريات القطاعات الاستهلاكية للماء الساخن، كالمنازل، الفنادق، المستشفيات، الثكنات، إلخ، والذي يمكنه أن يلبي الاحتياجات بنسبة 80 %، و يساهم في تخفيض انبعاث الغازات المسببة للاحتباس الحراري .

الطاقة في الجزائر أخذت مكانة هامة مبرمجة من أجل تطوير سخانات الماء الشمسية لمختلف القطاعات.

الهدف من هذا البحث ، فعالية الحرارة في سخانات الماء الشمسية من خلال دراسة مقارنة بين ثلاث مناطق جزائرية ، و هي : الجزائر ، تمنراست و بسكرة. تمت المحاكاة باستعمال برنامج RETscreen.

Résumé

La chauffe-eau solaire est l'une des applications les plus importantes de l'énergie Solaire, car il touche plusieurs grands secteurs consommateurs de l'eau chaude, tels que L'habitat, maison, l'hôtellerie, les hôpitaux, les casernes, etc., qui peuvent satisfaire les besoins jusqu'à 80 %, elle contribue à la réduction de l'émission de gaz à effet de serre. L'énergie en Algérie qui a mis une place importante programmée pour le développement des chauffes d'eau solaires pour les différents secteurs. Le but de cette recherche d'étude, les performances thermiques des chauffes d'eau solaires à travers une étude comparative entre trois sites Algériennes, en l'occurrence d'Alger et Tamanrasset et Biskra. La simulation se fait par le logiciel RETscreen.

Abstract

The solar water heater is one of the most important applications of solar energy, as it affects several major sectors consuming hot water, such as homes, hotels, hospitals, barracks, Etc., which can meet needs up to 80%, it contributes to the reduction of the greenhouse gas economy. Energy in Algeria which has put an important place programmed for the development of solar water heaters for the various sectors. The aim of this research study is the thermal performance of solar water heaters through a comparative study between three Algerian sites, in this case Algiers and Tamanrasset and Biskra. The simulation is done by the software RETscreen.