



Mémoire de fin d'étude

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et technique

Filière: génie mécanique

Spécialité: énergétique

Thème

Étude thermodynamique d'un chauffe-eau solaire fonctionnement en thermosiphon

Proposé et dirigé par

Mr. ZINE ALI

Réalisé par

- Sadoune imad
-Rahmani brahim
-Houga djamel eddine

Promotion 2012/2013

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions le bon dieu tout puissant qui nous donne de la foi, du courage et de patience afin d'accomplir ce modeste travail

Nous tenons à remercier notre promoteur Mr.khechkhouche A.Rahmane d'avoir accepté de nous encadrer et pour les efforts qu'il est déployé, pour nous aider, conseiller, encourager et corriger avec une grande gentillesse durant toute cette période.

Nous remercions tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce dernier.

Nous remercions tous les enseignants qui ont contribué à notre formation sans exception.

NOMENCLATURE

D	rayonnement solaire diffus	W/m ²
D*	densité de flux solaire diffus	W.m ⁻²
E	flux de rayonnement solaire	KW
E ₀	constante solaire	W.m ⁻²
G	rayonnement solaire global	W/m ²
G*	densité de flux solaire global	W.m ⁻²
H	hauteur angulaire du soleil	°
I	rayonnement solaire direct	W/m ²
K	coefficient de conductivité thermique	W/(m.K)
S*	densité de flux solaire direct	W.m ⁻²
T	température	°C
T _{cap}	température du captation	°C
T _{ret}	température de retour du fluide vers les capteurs à la sortie du ballon de stockage	°C

INDICE

J jour

Listes des figures

Figure I.1: la carte de l'enseulement.	5
Figure I.2: Variation type de l'éclairement solaire au cours d'une journée non perturbée.	6
Figure I.3 : Irradiation globale journalière en Algérie (Juillet).	7
Figure I.4 : Production de l'électricité avec cylindro -parabolique et centrale à tours.	8
Figure I.5 : Chauffe-eau thermosiphon monobloc (chauffage de l'eau).	8
Figure I.6 : Solaire photovoltaïque.	9
Figure II.1 : les composant d'une installation de production d'eau chaude sanitaire.	11
Figure II.2 : Chauffe eau solaire thermosiphon de 110 litres produit à L'UDES.	11
Figure II.3 : capteur sans vitrage.	12
Figure II.4 : Capteur sous vide.	14
Figure II.5 : Capteur plan vitré.	15
Figure II.6 : Plaque conductrice.	15
Figure II.7 : Le réseau de tubes.	16
Figure II.8 : Cuve de stockage.	16
Figure II.9 : vase d'expansion.	19
Figure II.10 : La station solaire.	20
Figure II.11 : La soupape de sécurité.	20
Figure II.12 : Le purgeur.	21
Figure II.13 : Système avec régulation différentielle.	21
Figure II.14 : Solution d'appoint.	22
Figure II.15 : Chauffe eau solaire de L'UDES de 110L.	24
Figure II.16 : Cumulus (appoint électrique).	25
Figure III.1 : Vue de chauffe-eau solaire installé.	27
Figure III.2 : Schéma de l'installation.	27
Figure III.3 : L'écoulement de l'eau dans l'installation.	28
Figure III.4 : Compteur d'eau.	28
Figure III.5 : Compteur d'énergie électrique.	29
Figure III.6 : Schéma du dispositif expérimental (emplacement des thermocouples).	29
Figure III.7 : Pyranomètre.	30
Figure III.8 : Centrale d'acquisition.	30
Figure III.9 : Evolution des températures dans le système le long de la journée du 12/05/2007.	30
Figure III.10 : Evolution de l'écart de température et le rayonnement solaire.	31
Figure III.11 : Evolution des différentes températures mesurées avec le temps (Journée 02/06/2007).	31
Figure III.12 : Variation de la consommation journalière pendant le mois de Mai.	32

Figure III.13 : Variation de la consommation journalière pendant le mois de Mai.	33
Figure III.14 : Exemple d'un profil de consommation journalière.	34
Figure III.15 : Evolution de la production solaire et du rendement du système.	35

SOMMAIRE

Introduction.	1
Chapitre I : Généralités sur le Rayonnement solaire et les applications de l'énergie solaire.	
I.1 Notions sur l'énergie renouvelable.	2
1- Biomasse.	2
2- L'énergie solaire.	2
3-l'énergie éolienne.	2
I.2 Rayonnement solaire.	2
I.1.A. Propagation du rayonnement solaire dans l'atmosphère.	3
I.1.B. Appareil de mesure.	3
I.1.C. Aperçu de la ressource.	4
I.1.D. Variations types du rayonnement.	5
I.1.E. le gisement solaire en Algérie.	7
I.2 Application de l'énergie solaire.	8
I.2.1 Solaire thermique.	8
I.2.2 Solaire photovoltaïque.	9
Chapitre II : production d'eau chaude sanitaire par énergie solaire	
II.1. introduction.	10
II.2 chauffe-eau solaire.	10
II.3 principe de fonctionnement.	11
II.4 Types de chauffe-eau solaires.	12
II.4.1 chauffe-eau stockeur.	12
II.4.2 chauffe-eau solaire à thermosiphon.	12
II.4.3 chauffe-eau solaire à circulation forcée.	13
II.5. les composants d'un CES.	13
II.5.1 capteur.	14
II.5.1.1 principe de fonctionnement.	14
II.5.1.2 type de capteurs.	15
II.5.1.3 quelques règles pour l'emplacement de capteur.	16
II.5.2 cuve de stockage.	17
II.5.3 les autres composants d'un chauffe-eau solaire.	19
II.6 la régulation électronique.	21
II-7 les appoints.	22
II-8 les avantages du chauffe-eau solaire, domaine d'application et le chauffe-eau solaire de L'UDES.	23

II-9. Domaines d'applications	25
II-10. Le chauffe eau solaire de L'UDES	25
Chapitre III : La partie expérimentale.	
III .1 Introduction.	26
III.2 description du système.	27
III.3 Schéma de l'installation.	28
III.4 Dispositif expérimental.	28
III.5 résultats et discussions.	30
III .6 conclusion.	35
Conclusion générale	36
Appendice	37
Bibliographie	38

Introduction Général

L'énergie demeure au cœur des inquiétudes mondiales de ce nouveau millénaire.

A la préoccupation première du développement d'énergies alternatives aux énergies fossiles, dont les réserves mondiales s'épuisent, est venu se greffer la nécessité de réduire considérablement la production de gaz à effet de serre et de la pollution qui, en induisant un réchauffement sans précédent de la planète, mettent en danger son devenir immédiat.

Les perturbations climatiques imputées à ce réchauffement et les diverses catastrophes naturelles qui en découlent tout au long de l'année à travers notre planète, ont aujourd'hui les mêmes effets sur les opinions publiques, notamment celles des pays riches de la planète, que ceux qui ont été provoqués, en leur temps, par les différents chocs pétroliers de la fin du siècle dernier et qui ont fait prendre toute la mesure de la dépendance du monde moderne des énergies fossiles.

Ces effets visibles sur le climat, combinés aux incidences économiques d'un baril de pétrole dont le prix a quasiment triplé en quelques années, posent le problème de la nécessité d'accomplir des efforts supplémentaires en matière d'économie d'énergie et de rationalisation de son utilisation.

Il se dessine également de plus en plus l'obligation du recours aux différentes énergies renouvelables, vécues comme des énergies propres et inépuisables à l'échelle humaine, pour leur réserver, chacune avec ses spécificités, une part toujours plus grande dans le bilan énergétique mondial.

Sensible aux arguments développés à travers le monde par tous ceux qui se soucient de promouvoir un développement durable au niveau de la planète, l'Algérie vient de mettre en œuvre un programme énergétique couvrant la prochaine décennie. Ce programme prévoit notamment :

De réaliser des économies d'énergies de l'ordre de six millions de tonnes équivalent pétrole (TEP) à l'horizon 2016 par la mise en œuvre des audits énergétiques.

De porter, avant la fin 2015, à 6% le taux de participation des énergies renouvelables dans le bilan énergétique national.

Des objectifs qui réclameront certainement beaucoup d'efforts de tous les secteurs utilisateurs .

C'est dans ce cadre que la présente étude, relative au développement d'un système de production d'eau chaude par capteur plan solaire à thermosiphon couplé à un appoint électrique, a été menée au sein de l'Unité de Développement des Equipements Solaires (UDES) de Bousmaïl (Tipasa, Algérie).

I.1 Notions sur l'énergie renouvelable

Par définition, les énergies dites renouvelables, sont potentiellement inépuisables. La nature peut les reconstituer assez rapidement, contrairement au gaz, au charbon et au pétrole, dont les réserves, constituées après des millions d'années, sont limitées. Les énergies solaires, éoliennes, hydrauliques, géothermiques et de biomasse en sont les formes les plus courantes.

1- Biomasse

La biomasse est constituée de tous les végétaux qui se développent à la surface de la terre. Elle représente un potentiel énergétique mondial de 70 milliards de TEP par an (dont 6% sont utilisés pour la nourriture et pour produire de l'énergie). Elle effectue la capture et le stockage de l'énergie solaire, qu'il est ensuite possible de restituer sous forme de combustibles ou de carburants.

2- L'énergie solaire

La protection de l'environnement est devenue une préoccupation majeure. De nombreuses voies de recherche se sont, donc orientées vers l'utilisation des énergies renouvelables, dont l'énergie solaire.

En une semaine, la planète reçoit sous forme de rayonnement solaire l'équivalent de ses réserves d'énergie fossiles. Une couverture de 0,1% de la surface du globe par des capteurs au rendement de 10% suffirait à satisfaire la consommation en énergie de l'humanité.

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie renouvelable car elle utilise une source d'énergie d'origine naturelle qui est le soleil.

Elle constitue donc une alternative aux énergies fossiles à plusieurs titres :

- Elle est inépuisable,
- Elle peut être produite localement et selon les besoins locaux,
- Elle préserve l'environnement, car elle n'émet pas de gaz à effet de serre, ne produit pas de déchets et n'entraîne aucun risque majeur ni aucune nuisance significative.

3- L'énergie éolienne

L'énergie provenant du mouvement et de la vitesse de déplacement du vent permet de faire tourner les pales d'une éolienne. Ce mouvement, grâce à un alternateur, génère de l'énergie électrique. La forte croissance mondiale du marché des grandes installations terrestres s'accompagne chaque année d'une augmentation de la puissance moyenne des éoliennes et en même temps, d'une baisse des coûts de production.

I.2 Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est un rayonnement thermique qui se propage sous la forme d'ondes électromagnétiques. Il produit un éclairement énergétique à peu près constant et égal à $1\,370\text{W/m}^2$, appelé de ce fait : constante solaire I_{cs} .

Pour atteindre chaque point de la surface éclairable du globe terrestre, les rayons solaires traversent l'atmosphère qui dissipe une partie de l'énergie provenant du soleil par :

-
- Diffusion moléculaire (en particulier pour les radiations U.V.)
 - Réflexion diffusée sur les aérosols atmosphériques (gouttelettes d'eau, poussières...)
 - Absorption sélective par les gaz de l'atmosphère.

L'atténuation correspondante du rayonnement solaire dépend de l'épaisseur de l'atmosphère traversée, celle-ci dépendant à son tour de la latitude du lieu considéré et du temps.

I.1.A. Propagation du rayonnement solaire dans l'atmosphère

Avant son arrivée dans l'atmosphère terrestre, le rayonnement solaire est dirigé. Il se présente sous la forme d'un faisceau à peu près parallèle. Seule une partie de ce rayonnement direct traverse l'atmosphère et atteint le sol. Une autre partie du rayonnement est diffusée et répartie à peu près uniformément dans toutes les directions de l'espace.

Ce rayonnement diffus, lorsqu'il atteint le sol terrestre, semble ainsi provenir de l'ensemble des directions de la voûte céleste.

A la surface de la terre, le rayonnement solaire global est la somme des rayonnements :

- direct, ayant traversé l'atmosphère,
- diffus, en provenance de toutes les directions de la voûte céleste.

Une surface exposée reçoit ainsi du rayonnement direct et diffus, mais elle reçoit en plus une partie du rayonnement global réfléchi par les objets environnants, en particulier par le sol, dont le coefficient de réflexion est appelé « albédo ».

I.1.B. Appareil de mesure

Les mesures sont destinées à chiffrer les échanges énergétiques s'effectuant par l'intermédiaire du rayonnement électromagnétique ; on distingue le **rayonnement solaire** dont le spectre le plus énergétique au sol est compris entre 0,3 et 4 μm et le **rayonnement terrestre** émis par l'ensemble surface terrestre atmosphère, dont le spectre d'énergie le plus intense s'étale de 4 à 100 μm .

Les différentes composantes du **rayonnement solaire** intéressant la météorologie sont :

le rayonnement solaire direct I : qui provient du disque solaire seulement, à l'exclusion de tout rayonnement diffusé, réfléchi ou réfracté par l'atmosphère ; sa mesure s'effectue à l'aide d'un **pyrhéliomètre**, appareil dont la surface sensible est toujours perpendiculaire aux rayons solaires ;

le rayonnement solaire global G : c'est le rayonnement, reçu sur une surface horizontale, provenant du soleil et de la totalité de la voûte céleste ; on le mesure avec un **pyranomètre**

le rayonnement solaire diffus D : en provenance de la voûte céleste, à l'exception du disque solaire, sa mesure s'effectue avec un **pyranomètre** muni d'une bande pare-soleil ou d'un disque écran.

Les trois termes G , I et D sont reliés par la relation :

$$G = I \sin h + D$$

Avec :

G : rayonnement solaire global ; I : rayonnement solaire direct ; D : rayonnement solaire diffus ;

h : hauteur angulaire du soleil (en degrés)

l'**albédo**, défini comme le rapport du rayonnement diffusé ou réfléchi par le sol au rayonnement global, est déterminé à l'aide d'un appareil (**albédomètre**) constitué par deux pyranomètres : l'un est tourné vers la surface du sol, l'autre vers le ciel ;

la **durée d'insolation**, mesurée par un **héliographe**, est le temps pendant lequel le

rayonnement solaire direct est supérieur à un seuil de $120 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$; elle est exprimée en dixièmes d'heure.

Le **rayonnement terrestre** est mesuré à l'aide d'un **pyrgéomètre**.

Le **rayonnement total** (somme du rayonnement solaire global et du rayonnement terrestre) couvrant le domaine spectral 0,3 à $100 \mu\text{m}$ est mesuré à l'aide d'un **pyrradiomètre**.

Enfin, les **pyrradiomètres différentiels** permettent la mesure du bilan radiatif Q (différence entre le rayonnement total dirigé vers le sol est celui dirigé vers l'espace).

En météorologie, on s'intéresse principalement :

soit aux mesures d'**éclairement énergétique** (quotient du flux énergétique reçu par un élément de surface par l'aire de cet élément) qui s'exprime en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ (ou en $\text{MW} \cdot \text{cm}^{-2}$) ;

soit aux mesures d'**exposition énergétique** (valeur intégrée dans le temps de l'éclairement énergétique) qui s'exprime en $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$.

Le plus souvent, les valeurs utilisées sont issues de mesures des irradiances globales et diffuses effectuées par les services météorologiques ou calculées à partir des durées d'ensoleillement. Il est également possible de déterminer l'ensoleillement d'un site donné à partir des images satellites.

L'analyse des images initialement destinées à l'observation de la couche nuageuse permet de déterminer avec une bonne précision la quantité d'énergie reçue au sol. Cette méthode permet de connaître l'ensoleillement pour des lieux où les mesures au sol n'existent pas.

I.1.C. Aperçu de la ressource

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de $1\,391\,000 \text{ km}$ (100 fois celui de la Terre), sa masse est de l'ordre de $2 \cdot 10^{27}$ tonnes.

Toute l'énergie du Soleil provient de réactions thermo-nucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde $564 \cdot 10^6$ tonnes d'hydrogène en $560 \cdot 10^6$ tonnes d'Hélium, la différence de 4 millions de tonnes est dissipée sous forme d'énergie, ce qui représente une énergie

totale de $36 \cdot 10^{22} \text{ kW}$. La Terre étant à une distance de $150 \cdot 10^6 \text{ km}$ du Soleil, elle reçoit une énergie de $1,8 \cdot 10^{17} \text{ W}$.

La valeur du flux de rayonnement solaire E reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne E_0 est appelée la constante solaire, elle vaut $E_0 = 1353 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. En première approximation, on peut calculer la valeur de E en fonction du numéro du jour

de l'année j par

$$E = E_0 [1 + 0.033 \cos 0.984 j]$$

On notera que 98% du rayonnement solaire est émis dans des longueurs d'onde inférieures à 4 μm . En première approximation, le rayonnement solaire peut être assimilé au rayonnement d'un corps noir à une température de 5777 K.

I.1.D. Variations types du rayonnement

I.1.D.1 Annuelle :

La valeur de l'irradiation globale annuelle sur un plan horizontal dépend fortement de la latitude comme le montre la carte de l'ensoleillement figure I.

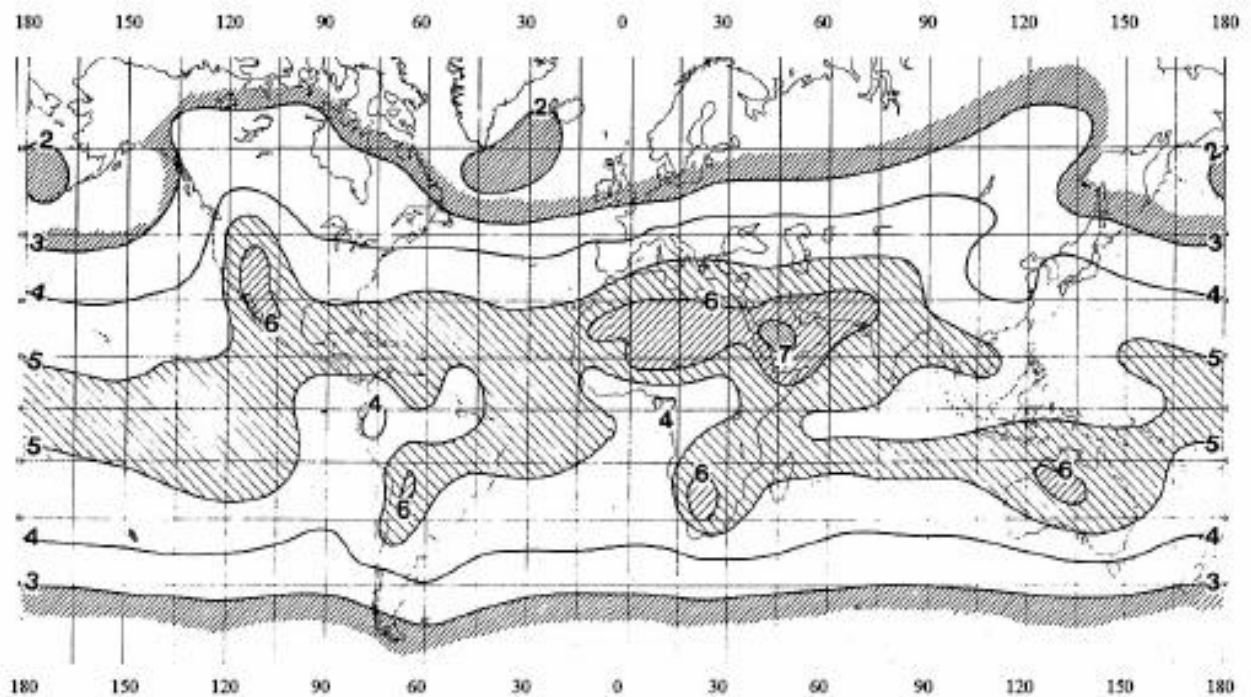


Figure I.1: la carte de l'ensoleillement Irradiation globale moyenne en $\text{kWh.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$

La valeur mensuelle moyenne de l'irradiation globale sur un plan horizontal subit également des variations plus ou moins importantes au cours de l'année ainsi que l'indiquent les données du tableau suivant :

Tableau 1 : Valeurs mensuelles moyennes des irradiances journalières (en $\text{kWh.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$) en différents lieux.

Lieu	Mois											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bangui	4,50	5,16	5,81	5,67	5,44	4,76	4,45	4,63	5,08	5,26	4,64	4,35
Dakar	5,2	5,93	6,99	7,02	6,95	6,51	5,78	5,10	5,40	5,50	5,00	4,87
Le Caire	3,36	4,40	5,83	6,76	7,2	7,58	7,43	6,96	6,13	4,86	3,58	3,08
Ouagadougou	5,61	6,36	6,28	6,31	6,22	6,06	5,81	5,47	5,94	5,83	5,75	5,19

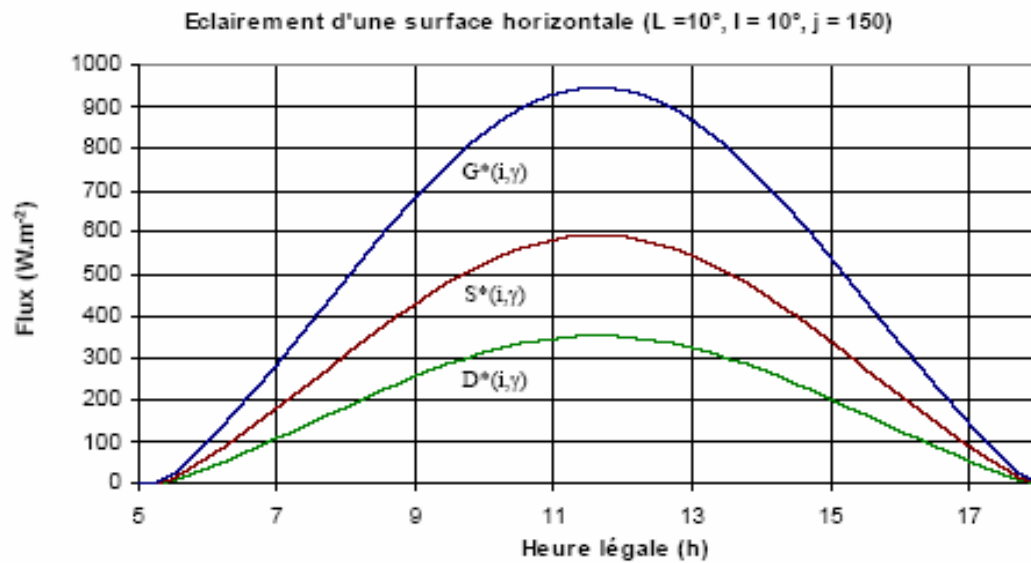


Figure I.2: Variation type de l'éclairement solaire au cours d'une journée non perturbée.

La valeur du flux est élevée et sa valeur minimale est relativement importante en zone tropicale ce qui peut permettre d'envisager des systèmes solaires autonomes sans stockage d'énergie sur une longue période. En dehors de la zone tropicale, les écarts de la valeur de l'irradiation entre le mois le plus ensoleillé et le mois le moins ensoleillé sont importants et il faudra prévoir soit un stockage d'énergie soit une énergie d'appoint pour couvrir un besoin énergétique donné (séchage de produits, production d'eau chaude sanitaire, pompage de l'eau.....

b- Journalière

L'éclairement solaire reçu par un capteur varie typiquement de la manière représentée sur la figure (I.4.1.2.1) au cours d'une journée non perturbée : nul la nuit, il augmente dès le lever du jour pour atteindre un maximum au midi solaire avant de décroître de nouveau jusqu'à s'annuler à la tombée de la nuit.

Avec:

D^* densité de flux solaire diffus $w.m^{-2}$;

G^* densité de flux solaire global $w.m^{-2}$;

S^* densité de flux solaire direct ;

L'utilisation de l'énergie solaire est donc bien adaptée aux applications dont les besoins coïncident avec les heures d'ensoleillement maximum. Dans la plupart des cas, il existe un décalage qui nécessite un stockage pour satisfaire les besoins de la période de non ensoleillement : ballon d'eau chaude associé à un capteur solaire pour les besoins en eau chaude en début de matinée, château d'eau associé à une pompe solaire pour les besoins nocturnes en eau.

I.1.E. le gisement solaire en Algérie

Le rayonnement solaire global qui atteint la surface de la terre comprend un rayonnement direct, provenant en ligne droite du soleil par temps clair, et un rayonnement diffus, résultant de la diffusion de la lumière dans l'atmosphère essentiellement par la couverture nuageuse. En Algérie, la part énergétique annuelle du rayonnement direct est plus importante que la part du rayonnement diffus.

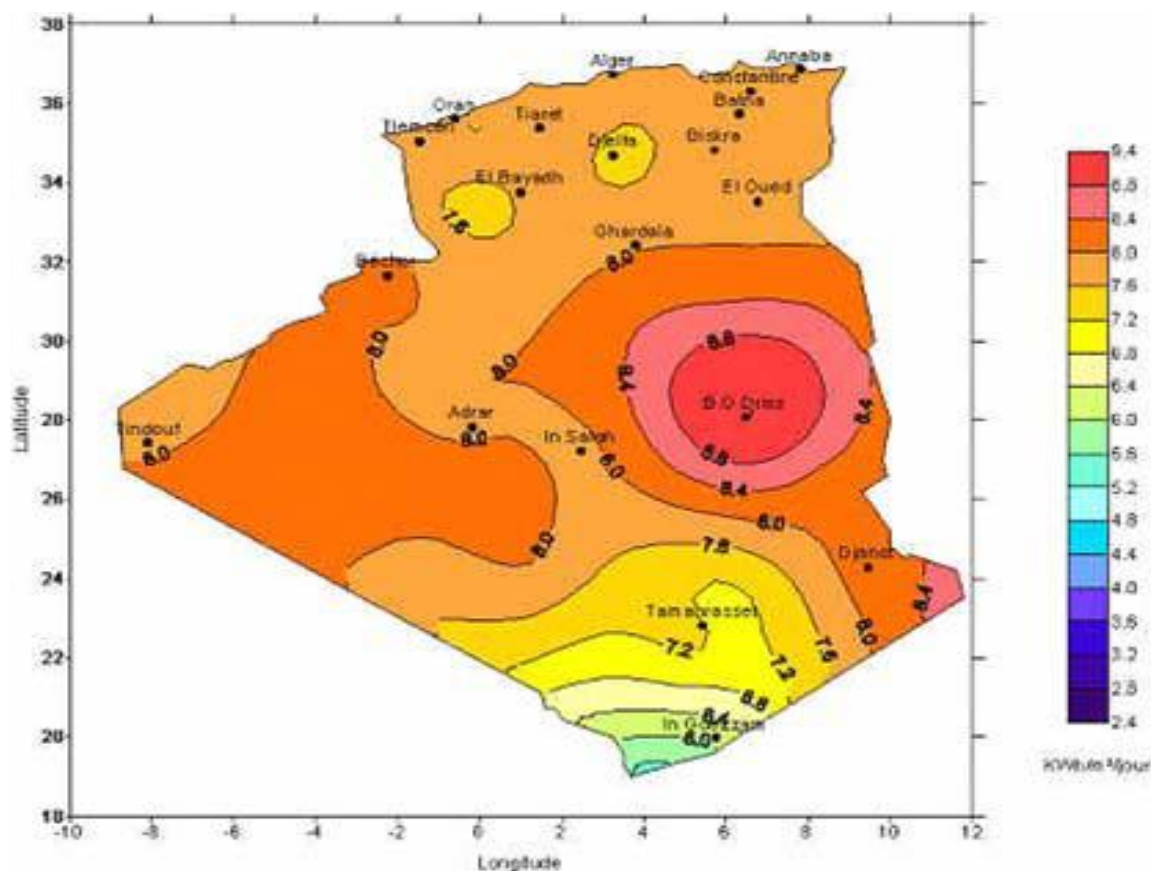


Figure I.3 : Irradiation globale journalière en Algérie (Juillet).

Notre pays reçoit un rayonnement solaire appréciable d'une valeur moyenne de 900watts/m^2 le long de l'année. Une évaluation par satellite, effectuée par l'agence spatiale Allemande, a montrée que l'Algérie possède le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen. Il est de 169,440 tera-watts.heure/an (twh/an) pour le solaire thermique et de 13,9 kWh/an pour le photovoltaïque. Quoique cette source soit gratuite et abondante dans notre pays, elle reste toujours inexploitée.

I.2 Application de l'énergie solaire

I.2.1 Solaire thermique

on utilise le solaire thermique pour :

- chauffage de l'eau.
- chauffage des locaux.
- production du froid par absorption et adsorption. -séchage des produits agro-alimentaire.
- Production de l'électricité par concentration (concentrateur parabolique et cylindro-arabolique).



Figure I.4 : Production de l'électricité avec cylindro -parabolique et centrale à tours.



Figure I.5 : Chauffe-eau thermosiphon monobloc (chauffage de l'eau).

I.2.2 Solaire photovoltaïque

on utilise le solaire photovoltaïque pour :

- production électricité de climatisation et pompage de l'eau, l'éclairage publique.....
- On utilise le solaire photovoltaïque pour la production d'électricité



Figure I.6 : Solaire photovoltaïque.

II.1. Introduction.

Pour que l'eau chaude sanitaire apporte une réelle satisfaction et un certain niveau de confort, elle doit répondre à plusieurs critères :

- disponible en permanence et le plus rapidement possible.
- en qualité suffisante.
- à la température désirée.
- la plus économique possible.

Le choix entre les divers types d'appareils sanitaires est d'abord un choix d'énergie : Gaz, électricité ou éventuellement solaire.

II.2. Le chauffe d'eau solaire

Le chauffage de l'eau par simple exposition au rayonnement solaire est une pratique très ancienne. Aujourd'hui, la technique du chauffage par énergie solaire a atteint un degré de maturité et une maîtrise inégale. La chauffe eau solaire (CES) est produit dans des usines, en série, pour répondre à des besoins en eau chaude très variés. Le désigne et la taille des systèmes sont adaptés à toutes les régions et tous les niveaux de consommations.

Une installation de production d'eau chaude sanitaire par l'énergie solaire comporte en Général 5 sous-ensembles :

- 1- un sous ensemble de captage,
- 2- un sous-ensemble de transfert,
- 3- un sous-ensemble de stockage,
- 4- un sous-ensemble d'appoint,
- 5- un sous-ensemble de distribution.

La réduction des consommations d'énergie par rapport à une installation classique, dépend du climat, du lieu d'implantation des capteurs solaires, du dimensionnement et de la conception du système, ainsi que du choix des composants et de leur maintenance. Il est donc nécessaire, lors de l'étude d'un projet, de rechercher le meilleur ajustement économique de la taille des équipements solaires aux besoins à satisfaire, ainsi qu'une conception optimale des sous-systèmes, de manière à :

- 1- optimiser le captage et le stockage de l'énergie solaire,
- 2- dissocier l'énergie solaire et l'énergie d'appoint,
- 3- consommer en priorité l'énergie solaire,
- 4- conserver à l'énergie d'appoint un caractère de stricte complémentarité

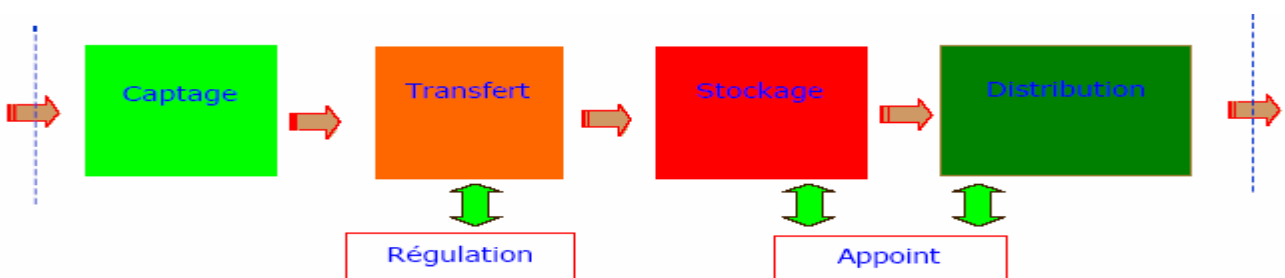


Figure II.1 : les composants d'une installation de production d'eau chaude sanitaire.

Les températures de l'eau produite par un chauffe-eau solaire peuvent atteindre 90°C. On distingue deux systèmes de circulations :

-
- Circulation forcée (pompe).
 - Thermosiphon (Circulation par différence de densités en fonction de la température).

II.3. Principe de fonctionnement

Le capteur converti le rayonnement solaire en chaleur par effet de serre (assuré par le vitrage). La chaleur absorbée par la plaque de couleur noire (absorbeur) est transférée à un fluide caloporteur qui la véhicule et le transfert, par la suite, à un ballon de stockage (cuve). L'ensemble du système doit être bien isolé pour assurer un rendement acceptable.

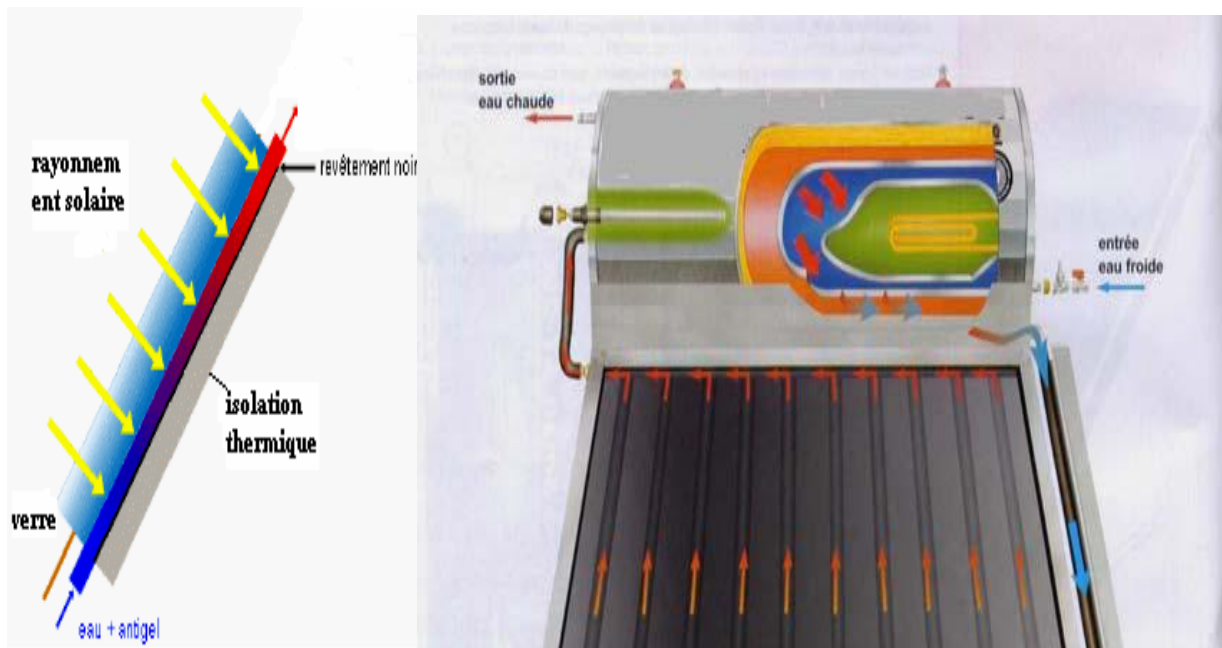


Figure II.2 : Principe de fonctionnement d'un panneau solaire pour le chauffage de l'eau.

II.4. Types de chauffe eau solaires

Il existe différentes catégories de chauffe-eau solaires individuels, qui dépendent essentiellement des conditions climatiques des régions dans lesquelles ils sont utilisés.

II.4.A. Chauffe-eau stockeur

Le principe du chauffe-eau stockeur (ou auto stockeur) est très ancien. Il est constitué d'un réservoir disposé dans un coffre isolant et protégé par une couverture transparente. Pendant la période d'ensoleillement, la température du ballon, recouvert d'un revêtement absorbant noir, s'élève. Pour éviter que celle-ci ne diminue pendant la nuit, le revêtement est généralement du type sélectif.

II.4.B. Chauffe-eau solaire à thermosiphon

Ce type, comme celui de L'UDES est constitué d'un capteur solaire et d'un ballon situé au-dessus de celui-ci. Sous l'effet du rayonnement solaire, l'eau contenue dans le capteur s'échauffe et sa densité diminue, elle s'élève dans le circuit et est remplacée par de l'eau plus froide (et donc plus lourde) en

provenance du ballon. C'est l'effet thermosiphon.

Ce système présente de deux avantages principales.

- Il ne comporte pas de pompes ni de régulation, et ne nécessite pas de raccordement au réseau électrique ;
- Les risques de panne et de dysfonctionnement sont, par conséquent, très réduits.



Figure II.3 : Chauffe eau solaire thermosiphon de 110 litres produit à L'UDES.

II.4.3. Chauffe-eau à circulation forcée

Cette catégorie regroupe les chauffe-eau solaires qui font appel à un circulateur pour transférer l'énergie depuis le capteur solaire vers le ballon de stockage. Contrairement aux chauffe-eau fonctionnant par thermosiphon, la disposition relative du ballon et du capteur est totalement libre (sauf dans le cas des chauffe-eau vidangeables). Plusieurs types de systèmes sont utilisés :

- systèmes directs .
- systèmes à échangeur .
- systèmes vidangeables .

A- systèmes directs

C'est un dispositif qui est utilisable dans les régions où il n'existe pas de risque de gel ou dont l'usage est saisonnier (maison de vacances, camping estival...). Dans ce cas, les parties extérieures de l'installation devront être impérativement vidangées pendant les périodes hivernales (il est à noter que la température à l'intérieur des capteurs peut être inférieure de quelques degrés à la température extérieure).

B- systèmes à échangeur

C'est certainement le type de chauffe-eau solaire à éléments séparés. La partie extérieure de l'installation

est protégée contre le gel, grâce à l'utilisation d'un fluide caloporteur approprié.

C- Systèmes vidangeables

Certains pays interdisent le chauffage de l'eau par un fluide antigel au moyen d'un échangeur à simple paroi. Des lors, les systèmes à échangeur ne sont plus utilisables et c'est de l'eau qui est utilisée comme fluide caloporteur. Pour éviter que celle-ci ne gèle lorsque la température dans le capteur est négative, le choix s'est porté sur des systèmes « vidangeables ». Lorsque la régulation arrête la pompe (température des capteurs inférieure à la température des ballons), les capteurs se vident par gravité laissant la partie extérieure de l'installation vide d'eau et, par conséquent, sans risque de gel.

II.5. Les composants d'un CES

II.5.A- Capteurs

II.5.A.1 Principe

Les capteurs solaires thermiques constituent le cœur des installations destinées à transformer l'énergie transmise par le soleil en chaleur. Le rayonnement solaire est absorbé par une surface noire, parcourue par un fluide caloporteur qui extrait l'énergie thermique et la transfère vers son lieu d'utilisation ou de stockage.

La plupart des capteurs sont munis d'une couverture transparente qui laisse passer la plus grande partie du rayonnement solaire et évitent le refroidissement de l'absorbeur.

Les échanges par convection entre celui-ci et la couverture transparente sont réduits, de même que l'émission du rayonnement infrarouge de l'absorbeur. C'est le principe de « l'effet de serre ».

Une isolation thermique est disposée à l'arrière et sur la périphérie du capteur pour limiter les déperditions par conduction.

Ces différentes configurations conduisent à des types de capteurs distincts, dont les performances varient en fonction des domaines d'utilisation.

II.5.A.2. Types de capteurs

a- Capteur sans vitrage

C'est le modèle le plus rustique et également le plus économique. Il est généralement constitué d'une simple plaque de métal ou de matière plastique (absorbeur) dans laquelle circule le liquide à réchauffer.

Le principal domaine d'utilisation de ce capteur est le chauffage des piscines de plein air. Celles-ci sont le plus souvent utilisées en été, lorsque la température ambiante et le rayonnement solaire sont élevés. Le niveau de température de l'eau des bassins est quant à lui inférieur à 30 °C.



Figure II.4 : capteur sans vitrage.

Dans ces conditions, l'efficacité des capteurs est très bonne, et l'utilisation de capteurs vitrés ne permettrait pas une meilleure collecte de l'énergie solaire.

Ces capteurs peuvent également être utilisés pour des installations de production d'eau chaude sanitaire.

C'est en particulier le cas dans des régions chaudes et fortement ensoleillées.

La parfaite intégration architecturale qu'autorise ce type de produit permet la mise en oeuvre de surfaces plus importantes, pour compenser la différence d'efficacité avec des capteurs vitrés, en particulier l'hiver.

b- Capteur sous vide

Lorsque la température de fonctionnement du capteur est très élevée ($> 100\text{ C}^\circ$) ou lorsque la température ambiante est faible (région de montagne), il est intéressant d'utiliser un capteur solaire dit « sous vide », qui se présente sous la forme de tubes de faible diamètre (jusqu'à une quinzaine de centimètres) dans lesquels sont disposés les absorbeurs, de conception identique à celle d'un capteur plan.

L'intérieur du tube est vidé de l'air qu'il contient et des pertes par convection entre l'absorbeur et la paroi vitrée du tube sont ainsi supprimées.

Le capteur sous vide voit ainsi ses déperditions limitées au rayonnement infrarouge.

Pour limiter les effets de celui-ci, la surface de l'absorbeur possède un revêtement « sélective ».

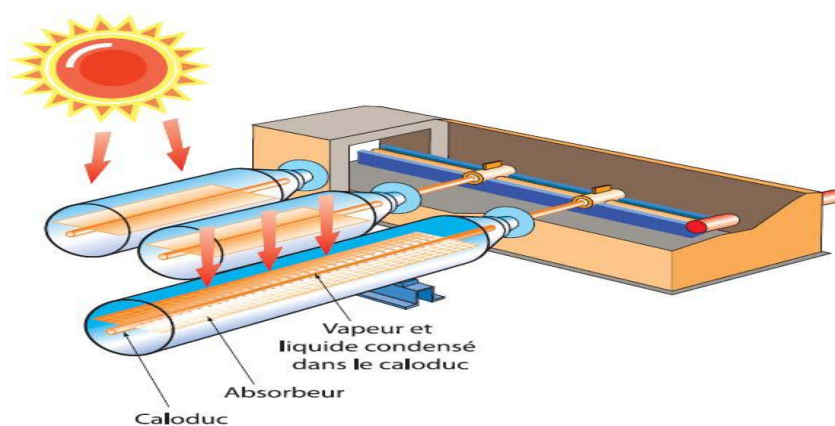


Figure II.5 : Capteur sous vide.

c- Capteurs vitrés

Ces capteurs sont les plus utilisés, car ils correspondent au domaine d'application le plus courant le

chauffage de l'eau sanitaire.

La température d'utilisation est en général inférieure à 70 °C. Plus rarement, certains d'entre eux, munis d'une couverture transparente de type « double vitrage », permettent d'atteindre des températures de fonctionnement de l'ordre de 100 °C.

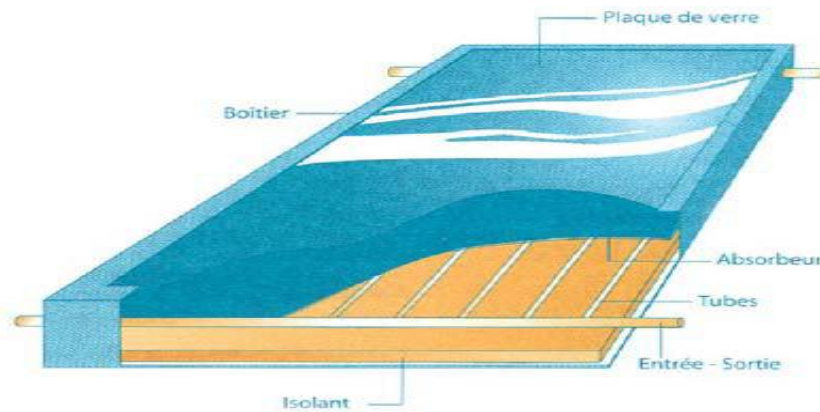


Figure II.6 : Capteur plan vitré.

c-1- Composants du capteur plan vitré

Le capteur vitré est constitué d'un coffre, d'une isolation thermique, d'un absorbeur et d'une couverture transparente.

- Coffre

Il assure la protection à l'arrière du capteur et participe à sa rigidité. On peut distinguer deux grands principes de construction :

- Les coffres monoblocs (par exemple en tôle pliée ou en matériaux composites) dont la géométrie assurent la tenue mécanique de l'ensemble du capteur.
- Les ensembles constitués de profilés périphériques (en aluminium) sur lesquels est fixée une protection (feuille de métal ou de matière plastique) qui assure l'étanchéité arrière.

Les matériaux les plus utilisés, pour constituer le fond du coffre, sont le métal et les matières plastiques. Ils doivent présenter les caractéristiques suivantes : bonne tenue à la corrosion, faible prix de revient, transformation facile. Les points de fixation des capteurs sur leurs supports font partie le plus souvent du coffre du capteur. Ces éléments doivent permettre de résister aux efforts à l'arrachement induits par le vent.

- Isolation thermique

L'isolation thermique (arrière et latérale) évite les déperditions thermiques du capteur par conduction. Elle est constituée d'un matériau isolant qui, dans certains cas, participe à la tenue mécanique du capteur, dans lequel l'isolant en mousse de polyuréthane est injecté entre deux parois rigides.

Dans un capteur solaire, l'isolation thermique est soumise à de très fortes contraintes. En effet, lorsque le capteur est exposé à un fort ensoleillement sans circulation de fluide caloporteur, l'absorbeur peut atteindre des températures très élevées, supérieures à 150 °C. Ce phénomène, s'il se reproduit

régulièrement, peut entraîner la destruction des isolants courants tels que les mousses de polyuréthane.

- Absorbeur

L'absorbeur est le composant qui permet de transformer le rayonnement solaire en chaleur et de transférer l'énergie thermique ainsi produite à un fluide caloporteur. Il est généralement constitué d'un réseau de tubes soudés ou fixés mécaniquement sur une plaque conductrice.

Le matériau le plus utilisé est le cuivre, car il possède une bonne tenue à la corrosion et sa conductivité thermique est élevée.



Figure II.7 : Plaque conductrice.

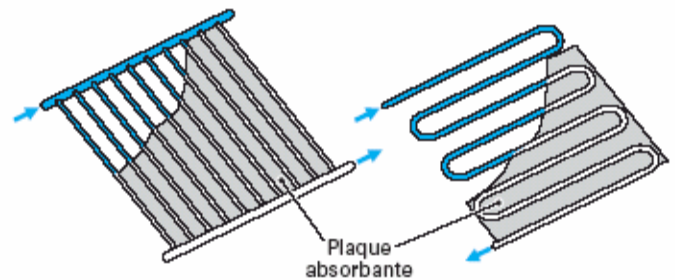


Figure II.8 : Le réseau de tubes.

- Couverture transparente

Elle a la double fonction de laisser passer le maximum de rayonnement solaire et d'éviter le refroidissement de l'absorbeur, en réduisant les phénomènes de convection de l'air et en bloquant le rayonnement infrarouge (effet de serre).

Les matériaux les plus utilisés sont le verre trempé (pour réduire les risques d'accident en cas de bris). Les matériaux de synthèse (polycarbonate, fluorure de polyvinyle), qui ont été utilisés naguère, ont presque complètement disparu pour des raisons de prix et de tenue au vieillissement.

Le vitrage est fixé sur le coffre du capteur soit de façon mécanique (joint d'étanchéité et percluse), soit collé directement sur le coffre. C'est cette dernière solution qui est mise en oeuvre sur les capteurs de conception récente.

Une partie du rayonnement solaire est réfléchi par les parois du vitrage, tandis qu'une autre partie est absorbée par celui-ci, transformée en chaleur en entraînant une augmentation de sa température.

II.5.1.3 Quelques règles à respecter pour obtenir une efficacité optimale et réussir l'intégration architecturale des capteurs solaires

A- La meilleure orientation

Plein sud, pour capter un maximum d'ensoleillement. Mais sud-est ou sud-ouest, c'est encore très bien.

B- Les localisations possibles

Sur un toit, en auvent, en façade, en terrasse, ou même au sol près de la maison

C- Les implantations convenables

Pour un usage à longueur d'année, les capteurs solaires sont en général inclinés à 45° par rapport à l'horizontale. Cependant une inclinaison différente joue peu sur leurs performances ; les critères

esthétiques sont alors prépondérants.

D- L'intégration au bâti

Les capteurs solaires sont des plaques de couleur sombre recouvertes d'un vitrage. S'ils sont placés sur un toit, il est préférable qu'ils en suivent la pente. Certains capteurs sont conçus pour s'intégrer discrètement dans les toitures, comme une fenêtre de toit. Votre installateur (ou votre architecte) vous conseillera les ménagements les mieux adaptés au caractère de votre maison et à son cadre.

II.5.2. Cuve de stockage

a- Les ballons de stockage

Sauf cas spécifique (surface de capteurs < 20 à 30 m²), les ballons de stockage sont des ballons type « tampon ECS » dépourvus d'échangeur de chaleur incorporé. En effet, pour des raisons de coût et de performances, des échangeurs à plaques sont préconisés pour transférer l'énergie provenant des capteurs solaires à l'eau chaude sanitaire.

Pour certaines applications, ou plus spécialement certaines implantations des ballons de stockage avec des températures basses, on utilise des ballons avec échangeur interne pour éviter les risques de gel dans les canalisations et dans l'échangeur à plaques. Dans ce cas, les canalisations d'eau froide et d'eau chaude doivent être isolées efficacement. Une attention particulière est portée à la tenue en température des ballons d'eau chaude sanitaire.

Certains produits sont garantis uniquement si la température de stockage est inférieure ou égale à 60°C. Une tenue en température minimale de 80°C est nécessaire pour les ballons de stockage solaire.

hormis des considérations de qualité de matériau en lien soit avec les qualités de l'eau, soit avec des aspects sanitaires (métallisation notamment), aucune caractéristique spécifique n'est liée à l'utilisation de l'énergie solaire.

Afin de favoriser la stratification de l'eau chaude solaire, le ballon de stockage doit être conçu de manière à optimiser la performance énergétique de l'installation.

b- Le revêtement

Différents types de revêtements peuvent être utilisés pour les réservoirs de stockage, le critère essentiel étant la résistance à la corrosion. Le " boiler " en acier inoxydable est donc le préféré, mais toutefois les réservoirs de stockage en cuivre et en acier émaillé avec anode de protection conviennent également et sont à un coût inférieur. Deux grands types d'anodes de protection existent :

-L'anode sacrificielle au magnésium : l'anode au magnésium se corrode à la place du réservoir de stockage. Mais cette anode se consomme et il faut donc contrôler son efficacité tous les deux ans et la remplacer si nécessaire.

-L'anode à courant imposé : dans ce cas, l'anode est inattaquable, il est donc inutile de vérifier son efficacité.

Ce procédé néanmoins nécessite d'être alimenté de manière permanente, mais sa consommation est inférieure à 25 (KWH) par an.

c- L'isolation

La qualité de l'isolation du ballon de stockage revêt une grande importance.

On parle de matériau isolant lorsque le coefficient de conductivité thermique (k) est inférieur à 0,065 W/ (m.K). Plus cette valeur k est faible, moins la chaleur traversera le matériau et donc plus grand sera son pouvoir soldant.

Une autre manière plus facile de comparer les déperditions thermiques de différents " boiler " est de comparer leur déperdition propre exprimée en kWh/24h ou en C°/24h pour une température de stockage donnée.

Dans ces cas, le matériau et l'épaisseur d'isolation sont déjà pris en compte ; ce qui rend la comparaison plus facile.

d- La capacité

Le dimensionnement du volume du " boiler " ne se fait pas sur base de la consommation d'une journée. Il faut prévoir un volume de stockage de 1,3 à 1,7 fois la consommation journalière en eau chaude sanitaire afin de pouvoir stocker de l'eau chaude pour deux jours, ce qui permet de prendre en compte partiellement les effets climatiques. Il est habituellement conseillé aussi de prévoir un stockage de 50 à 80 litre par mètre carré (L /m²) de capteurs plans

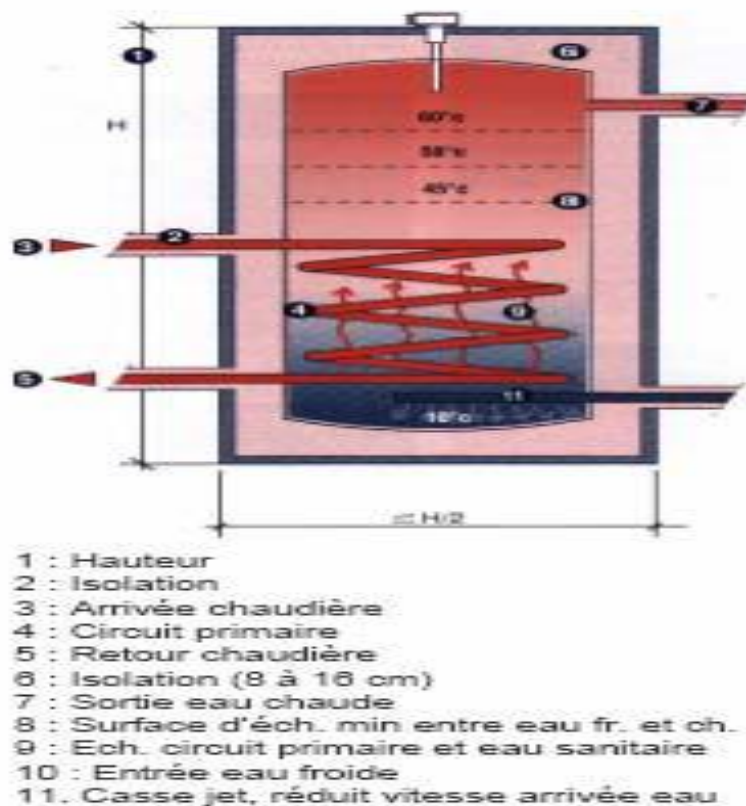


Figure II.9 : Cuve de stockage.

II .5.3. Les autres composants d'un chauffe eau solaire

a- les conduites du circuit primaire

Habituellement, les matériaux utilisés pour les tuyauteries sont des tubes en cuivre ou des tubes en acier

simple.

Des systèmes complets comprenant les tuyauteries aller et retour ainsi que le câble pour la sonde de température de capteur et l'isolation ce système de la tuyauterie permet un gain de temps à l'installation.

Les tuyauteries du circuit primaire ont intérêt à être isolée de manière à limiter les pertes de chaleur entre les collecteurs et le ballon de stockage.

L'isolation de ces tuyauteries ne peut en aucun cas être réalisée au moyen d'isolant pour les tuyauteries sanitaires habituelles, car il est indispensable de tenir compte des températures, auxquelles celle-ci seront explorées, l'isolant habituellement utilisé peut résister à une température continue de 150à180C°.

b- Vase d'expansion

Le vase d'expansion doit permettre l'expansion du fluide caloporteur et permettre d'absorber le volume de se dernier expulsé du capteur solaire lorsqu'un phénomène d'ébullition survient, et cela sans hausse excessive de la pression.



Figure II.10 : vase d'expansion.

c- La station solaire

Dans la plupart des système solaire, un module station solaire, comprenant le circulateur, les clapets anti-retour et les vannes, est présent la plupart du temps, la régulation est aussi insérée dans ce module.

Le clapet anti-retour à pour fonction d'empêcher, dans les systèmes sans vidange qu'un effet de thermosiphon n'entraînes une inversion de la circuit primaire en cas d'arrêt de la pompe.

-Le rôle du circulateur est d'assurer la circulation du fluide caloporteur dans la boucle solaire, les circulateur utilises dans les installation de chauffage centrale avec radiateur (résistant à des températures pouvant atteindre 120°C) conviennent normalement aussi pour les installation avec chauffe-eau solaire



Figure II.11 : La station solaire.

La soupape de sécurité sert à limiter la pression maximale dans le circuit primaire, les soupapes de sécurité sont constituées d'un boîtier en laiton et peuvent être associées à un manomètre, habituellement les soupapes de sécurité ont des pressions d'ouverture de 4 à 6 bars.

Remarque: un réservoir étanche doit être prévu afin de recueillir les effluents de la soupape



Figure II.12 : La soupape de sécurité.

d- Les robinets de vidange

Des robinets de vidange et de remplissage devront être placés au point le plus bas du circuit solaire et sur l'arrivée d'eau froide du poiler afin de pouvoir effectuer la vidange complète de l'installation.

Remarque: un réservoir étanche doit être prévu afin de recueillir le fluide caloporteur

e- Les purgeurs

Les purgeurs permettant à l'air de s'échapper des tuyauteries, se qui se produit lors de remplissage et le cas échéant ultérieurement en cours de fonctionnement de l'installation, les purgeurs doivent être disposés aux points les plus élevés de l'installation, les purgeurs sont uniquement prévus pour les installations sans vidange ou utilisent exclusivement des purgeurs à commande manuelle ou des purgeurs automatiques (verrouillables) lors du fonctionnement normal de l'installation.



Figure II.13 : Le purgeur.

II.6. La régulation électronique

Dans une installation solaire thermique, une régulation minimal est nécessaire (excepté pour les system à thermosiphon) afin de réguler le processus d'échange de chaleur entre le capteur et le réservoir de stockage .c'est pourquoi dans tout les cas, une régulation différentielle est utilisée.

II.6.1. La régulation différentielle

Le principe de base de la régulation d'une installation de production d'eau chaude sanitaire solaire est simple. Deux sondes sont nécessaires : une première sonde située dans les capteurs solaire , une autre sur le retour vers les capteurs à la sortie du ballon de stockage de l'eau sanitaire, cette régulation est basée sur le principe d'un circuit intégré comparateur.

Pour être plus clair, définissons : $T_{\text{capt}} = T^{\circ}$ du capteur.

$T_{\text{ret}} = T^{\circ}$ de retour du fluide vers les capteurs à la sortie du ballon de stockage.

- T_1 : différence de température entre T_{capt} et T_{ret} pour la mise en marche de la pompe (de 5 à 10°C).

- T_2 : différence de température entre T_{capt} et T_{ret} pour l'arrêt de la pompe (de 1 à 3°C). Dès que : $T_{\text{capt}} >$

$T_{\text{ret}} + T_1$: mise en marche de la pompe.

$T_{\text{capt}} < T_{\text{ret}} + T_2$: arrêt de la pompe.

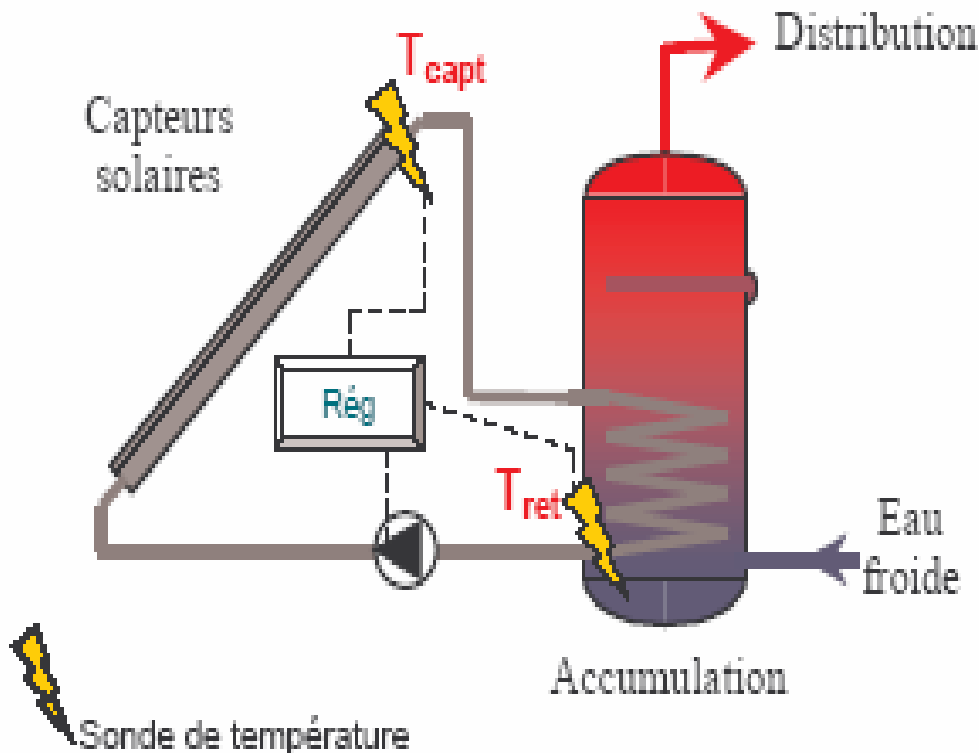


Figure II.14 : Système avec régulation différentielle.

II-7. Appoint

En cas de faible ensoleillement ou par temps pluvieux, il est nécessaire d'utiliser un appoint du Solaire (une deuxième source d'énergie).

Pour optimiser les apports solaires il faut respecter 4 règles de base.

- capter le plus d'énergie solaire possible,
- consommer l'énergie solaire en priorité,
- Ne consommer l'énergie d'appoint qu'en strict complément du solaire,
- Ne pas mélanger les énergies.

Ces 4 règles paraissent évidentes. Elles ne sont pas toujours respectées et un mauvais couplage entre l'appoint et le solaire peut s'avérer désastreux. C'est le cas par exemple si l'eau froide est chauffée en priorité par l'appoint : même s'il y a du soleil, on ne réalise pas d'économies car l'eau étant déjà chaude, le capteur solaire n'a plus besoin de fournir d'énergie...

Solution 1

Cette solution nécessite deux ballons d'eau chaude : le premier alimenté par les capteurs Solaires, le second en série chauffé par l'appoint. Ce deuxième ballon peut être un ballon déjà Existant (électrique ou avec échangeur). Cette solution est la plus performante.

Solution 2

L'appoint d'eau chaude peut aussi être assuré par une chaudière gaz instantanée, dont la Puissance devra être modulable pour obtenir la température souhaitée.

Solution 3

On utilise un ballon mixte (solaire/électrique par exemple) où l'appoint chauffe uniquement la Partie haute du ballon : on dit alors que l'appoint est intégré au ballon solaire. Cette solution est un peu moins coûteuse et réduit l'encombrement, mais son efficacité est un peu moins bonne que lorsque l'appoint est séparé.

Dans le cas d'une installation monobloc, il est fortement déconseillé d'intégrer l'appoint de chauffage dans le ballon solaire situé au-dessus du capteur : les pertes de chaleur Seront sensiblement réduites si l'appoint est séparé et situé dans l'habitation.

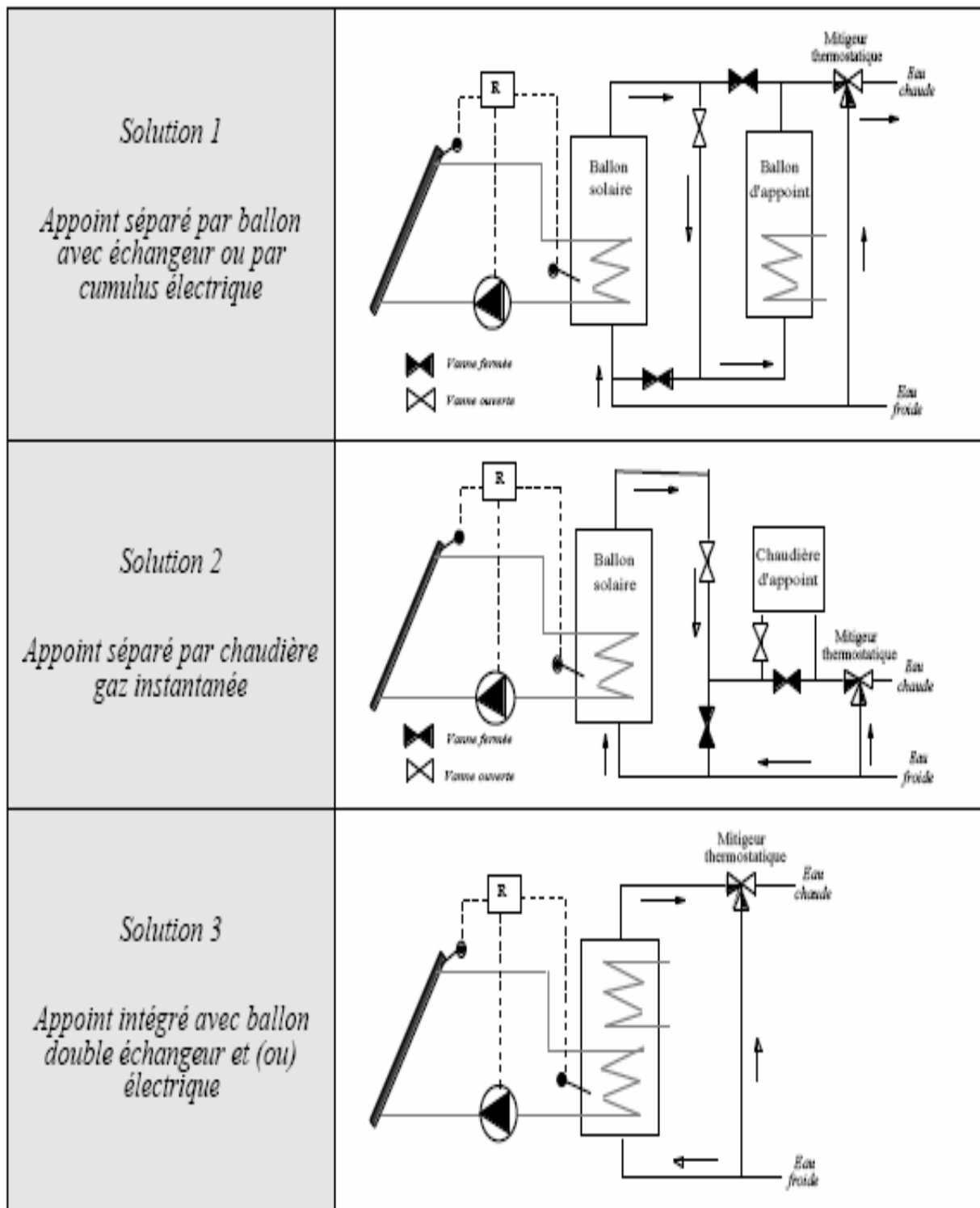


Figure II.15 :Solution d'appoint

II-8. Les avantages une chauffe eau solaire

- Propre et écologique.
- Source d'énergie inépuisable et gratuite. -Simplicité (ne demande pas une haute technicité).
- Duré d'exploitation importante si bien entretenu (20 ans). -Ne nécessite pas de systèmes de poursuite.

-Coûts de maintenance quasi-nul.

II-9. Domaines d'applications

La chauffe eau solaire produit de l'eau chaude à des quantités et des températures adaptées à des besoins multiples. Les systèmes sont conçus et dimensionnés selon toutes les exigences possibles.

Aujourd'hui, la chauffe solaire est utilisée dans la quasi-totalité des secteurs :

Habitations individuelles (eau chaude et chauffage). Immeubles, écoles, hôtels, hôpitaux ...etc.

Chauffage des piscines (capteurs plans sans vitrage).

Chauffage de l'eau pour l'industrie de l'aquaculture (capteurs plan sans vitrage).

II-10. Le chauffe eau solaire de L'UDES

La chauffe eau solaire, fabriquée par

L' UDES, est un système à thermosiphon de 110 et 220 litres de capacités de stockage. Toutefois, le capteur plan est conçu pour produire deux (02) modèles (2 et 4 sorties) et ce pour s'adapté facilement à toutes les installations de production de l'eau chaude. Pour constituer un champ de capteurs, dans un système de chauffage collectif, il offre une grande facilité d'intégration et ce uniquement par combinaison des deux modèles (2 et 4 sorties).



Figure II.16 : Chauffe eau solaire de L'UDES de 110L.

III.1. Introduction

La croissance sans cesse de la demande mondiale en énergie, associée à la hausse des cours du pétrole, à la diminution des réserves mondiales du pétrole et, au réchauffement climatique pousse les analystes et les experts à exprimer leurs fortes inquiétudes sur le devenir énergétique de la planète. Cette situation alarmante impose une nouvelle tendance des politiques énergétiques à l'échelle planétaire. Il s'agit d'économiser et réserver l'énergie fossile (non renouvelable) pour les utilisations dites nobles telles que le

transport et le militaire. Il s'agit, également, d'augmenter la part des énergies renouvelables dans le système énergétique mondial par la promotion et le développement des applications fonctionnant par ces énergies propres (protection de l'environnement).

Dans ce contexte, l'Algérie vient de mettre en place un programme énergétique très ambitieux, s'étalant sur les dix prochaines années et qui consiste en :

Réaliser des économies d'énergies de l'ordre de six (06) millions de tonnes équivalent pétrole (TEP) à l'horizon 2016 par la mise en œuvre des audits énergétique.

Porter à 6% le taux de participation des énergies renouvelables, dans le plan énergétique national et ce avant la fin 2015.

Un des moyens adopté en Europe, pour réaliser des économies d'énergie, est l'utilisation des chauffe-eau solaire individuelle et collective comme appoints aux systèmes de chauffage conventionnels.

Le système proposé, dans cette étude, est une chauffe eau solaire individuel de 220L raccordé en série à un Cumulus électrique de 50 L.

L'objectif principal est d'isoler le système solaire de l'appoint et ce dans le but d'augmenter l'apport de l'énergie solaire. Dans ce dispositif, le chauffe-eau solaire fournit de l'eau préchauffée au système électrique qui se met en marche uniquement pour corriger la température de l'eau si nécessaire. Il faut souligner que l'énergie électrique ne chauffe que 20 % du volume d'eau disponible dans le système.

L'étude menée à L'UDES consiste, dans une première phase, à tester et évaluer le système dans un cas d'utilisation réel qui est l'alimentation de la cantine en eau chaude sanitaire. La cuisine assure la préparation de 60 repas par jour et ce cinq (05) jours par semaine.

Le dispositif expérimental mis en place est conçu pour suivre et déterminer le profil de consommation d'eau chaude de la cuisine, la consommation électrique du cumulus et la contribution de l'énergie solaire dans un système de production de l'eau chaude sanitaire.

En résumé, les objectifs du présent projet sont :

1. Etude et évaluation des économies d'énergie réalisées.
2. Optimisation des conditions de fonctionnement du système pour réaliser le maximum d'économies.
3. Rendre le fonctionnement de la chauffe eau solaire, indépendant des changements climatiques.

III.2. Description du système

L'effet d'un appoint électrique intégré dans un système thermosiphon à un ballon horizontale est actuellement l'un des principaux problèmes de conception, pour cette raison, nous adoptons à un appoint séparé. Le chauffe eau solaire thermosiphon utilisé dans cette étude est fabriqué dans les ateliers de L'UDES, il est constitué d'un ballon de stockage horizontal de 220 L et de deux capteurs plans, voir (Figure V.2).

Le cumulus raccordé en série au CES, à usage domestique, est un appareil de 50L équipé d'une résistance de 1200 w, voir Figure (V.1). Les caractéristiques techniques du chauffe-eau solaire utilisé dans ce dispositif sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques du chauffe-eau solaire

DESIGNATION	UNITES
Volume de la cuve	220 L
Nombre de capteur	02
Ouverture capteur	1.7
Nombre de tubes / capteur	09
Volume du cumulus	50 L
Puissance de la résistance	1200 w

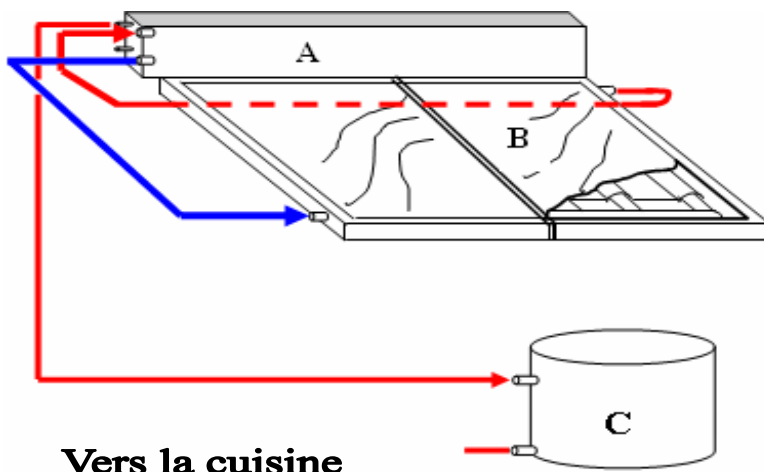


Figure III.1 : Cumulus (appoint électrique).



Figure III.2 : Vue de chauffe-eau solaire installé.

III.3. Schéma de l'installation



- A: Cuve de Stockage (200 litres)
- B: capteur plan (1.7 m²)
- C: Cumulus (50 litres)

Figure III.3 : Schéma de l'installation.

L'écoulement de l'eau dans l'installation est décrit ci-dessus :

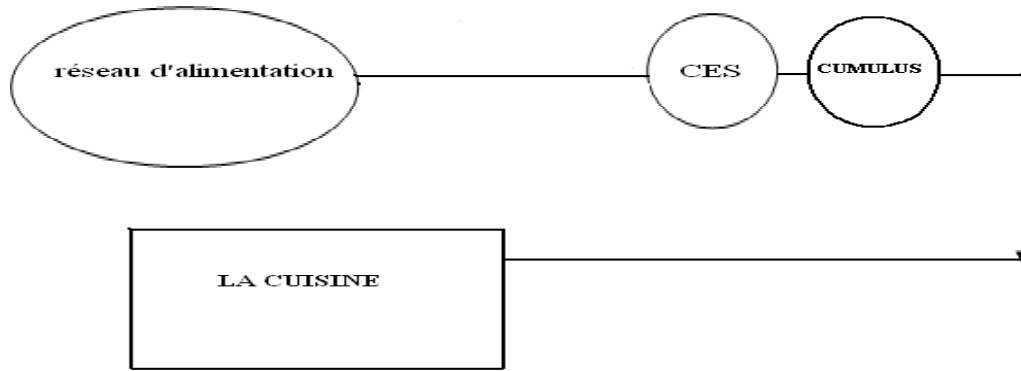


Figure III.4 : L'écoulement de l'eau dans l'installation.

III.4. Dispositif expérimental

Les appareils de mesure sont :

1. Compteur d'eau de type standard, pour la suivie de la consommation en eau chaude de la cuisine.
2. Compteur d'énergie électrique de type Wechselstromzähler 230v/10A : il permet le suivi avec précision de la **consommation électrique lorsque** la résistance de chauffage est en marche.
3. Thermocouples de type K : un des thermocouples le plus utilise est le chromel-alumel ou thermocouple de type **K** pour la mesure de la température à différents endroits de l'installation.

Les caractéristiques techniques du thermocouple de type K sont résumées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Les caractéristiques techniques du thermocouple de type K.

LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU THERMOCOUPLE TYPE K						
TYPE	METAL A (+)	METAL B (-)	LIMITES THEORIQUES	COEFF. SEEBECK A ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) A $T^\circ\text{C}$	ERREUR STANDARD	ERREUR MINI
K	CHROMEL	ALUMEL	-270 A 1372°C	39,45 μV A 0°C	2,2% A 0,75%	1,1% A 0,2%

4. Nous avons utilisé une centrale d'acquisition de données de type Fluke Hydra, séries II N°2625A pour acquérir l'ensemble des paramètres. Ce sont des centrales de mesure de haute précision avec par exemple une précision de 0,025 % sur les entrées tensions. Les trois centrales HYDRA se composent d'entrées universelles tension DC/AC, thermocouples (9 types), résistances, sonde PT100, fréquences et courants AC/DC avec des sondes externes.

Toutes possèdent 8 entrées/sorties numériques et 4 sorties d'alarme. Des logiciels sont proposés pour l'analyse de courbes et la production de rapports.

5. Le rayonnement global est mesuré par un pyranomètre de type Kipp & Zonen de coefficient 0,00000457V.m²/W.



Figure III.5 : Compteur d'eau.



Figure III.6 : Compteur d'énergie électrique.

01	Haut du capteur 1
02	Haut du capteur 2
03	Bas du capteur 1
04	Ensoleillement (pyranomètre)
05	Entrée capteur (de la cuve)
06	Sortie capteur vers la cuve
07	Température ambiante
08	Sortie cuve vers cumulus
09	Sortie cumulus vers utilisation

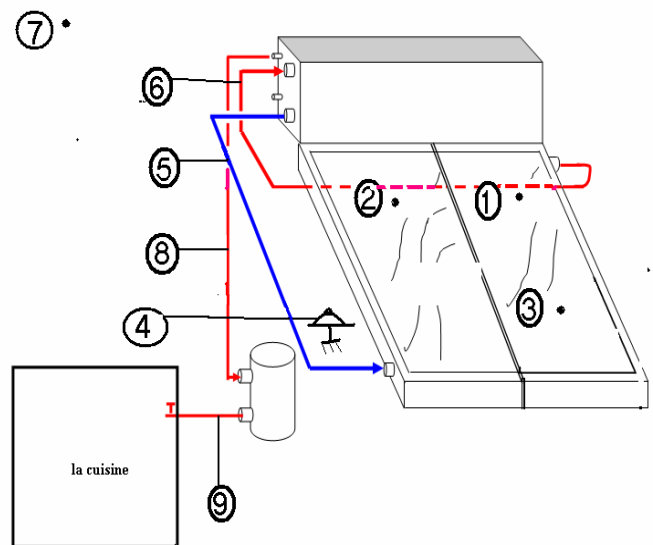


Figure III.7 : Schéma du dispositif expérimental (emplacement des thermocouples).



Figure III.8 : Pyranomètre.



Figure III.9 : Centrale d'acquisition.

III.5. Résultats et discussions

L'étude a été conduite en deux phases :

Chauffe eau solaire sans appoint : cette phase a duré deux semaines, la semaine du 07 au 12 mai a été choisie comme semaine type.

Chauffe eau solaire avec cumulus : il est à noter que le système de régulation est un dispositif, thermostat différentiel, de grade commercial qui ne permet pas l'obtention d'un réglage de précision de la température.

III.5.1. Suivi du fonctionnement du chauffe eau solaire

A- chauffe eau solaire sans appoint (cumulus)

Pour pouvoir comprendre le fonctionnement du chauffe eau solaire dans un cas d'utilisation réel, l'évolution des températures de l'eau ainsi que le rayonnement solaire ont été mesurés le long de la journée du 12/05/2007. Il faut signaler que la quantité d'eau chaude utilisée par la cuisine était de 220 litres à une température moyenne de 50°C. La figure (V.10) montre que la température de l'eau d'utilisation (T8) oscille entre 65 et 45°C. Cela est dû principalement au puisage (consommation) qui est irrégulier et imprévisible au niveau de la cuisine.

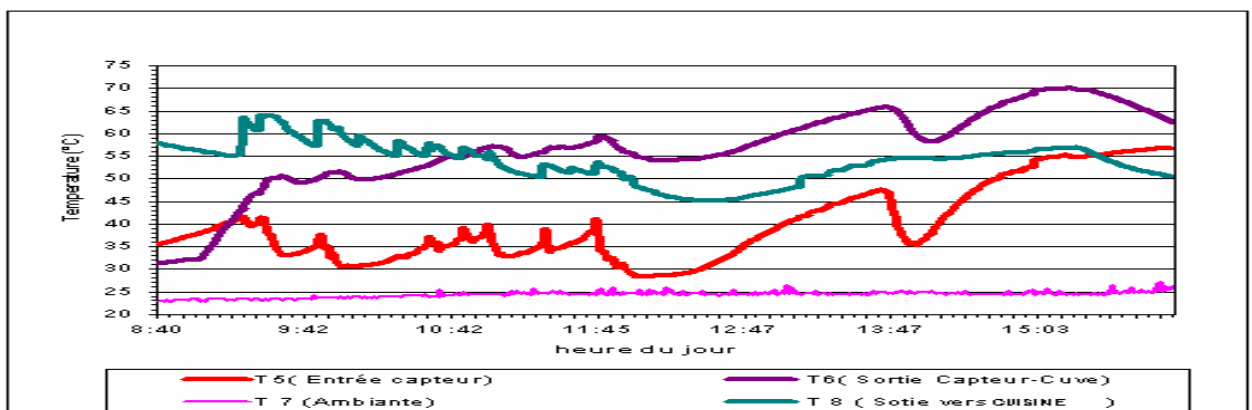


Figure III.10 : Evolution des températures dans le système le long de la journée du 12/05/2007.

La baisse de la température de l'eau jusqu'à 45°C pendant la préparation du repas montre que le CES seul ne peut pas assurer une température fixe (55°C) lorsqu'il y a un puisage important. L'évolution de l'écart de température et le rayonnement solaire sont représentés dans la figure (V.11).

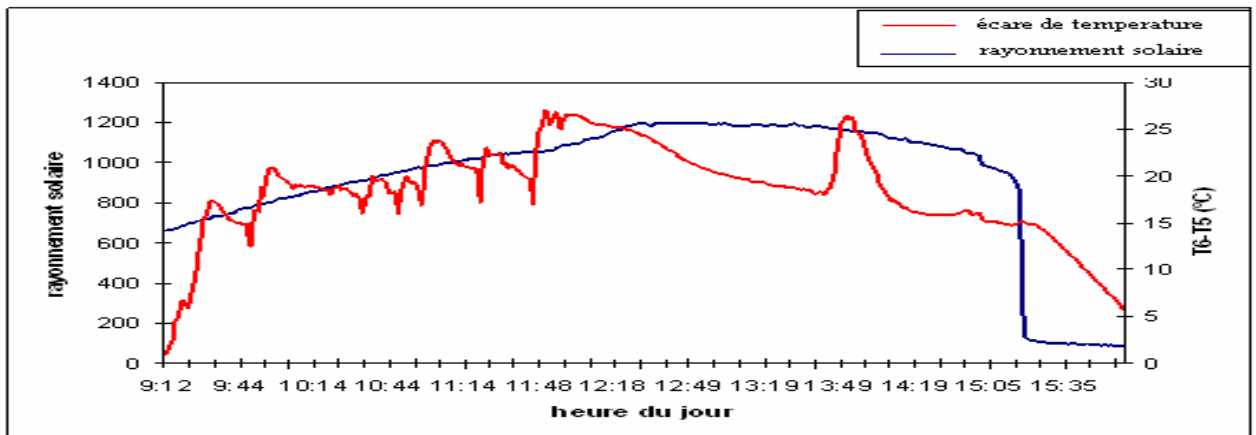


Figure III.11 : Evolution de l'écart de température et le rayonnement solaire.

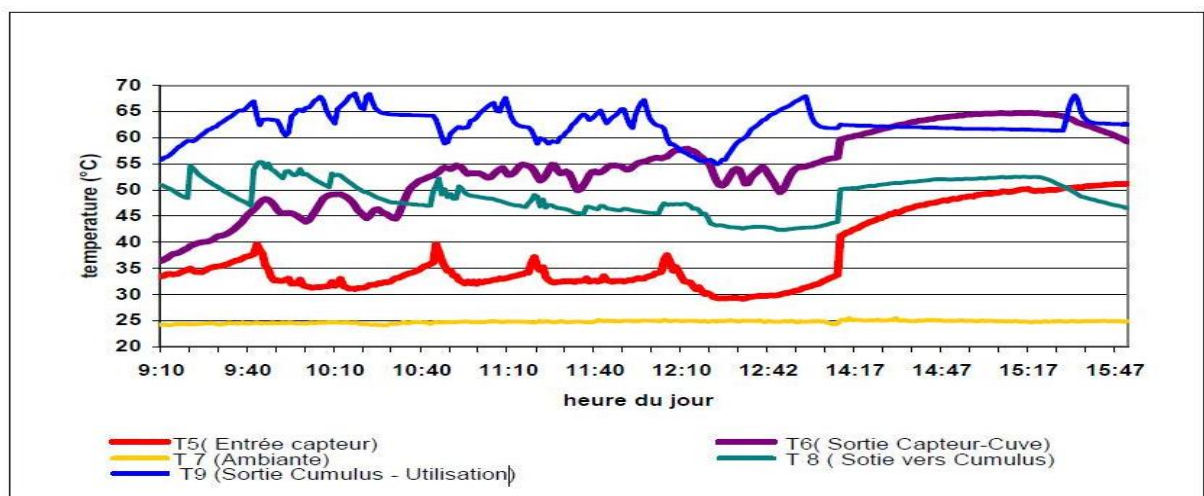
La figure (V.11) illustre l'évolution du rayonnement solaire et l'écart de la température entre l'entrée et la sortie du capteur pendant une journée type, on peut remarquer généralement une proportionnalité entre l'évolution des deux paramètres.

Remarque : la chute de l'écart de température par rapport à la croissance de rayonnement due à la consommation excessive.

On dit que la production solaire dépend du rayonnement solaire.

B- Chauffe eau solaire avec appoint électrique (cumulus)

Pour avoir une température de l'eau d'utilisation d'environ 55°C, il est impératif d'utiliser l'appoint électrique. La température de l'eau est préchauffée entre 40 et 55°C, pour améliorer les performances du



CES pour atteindre une température entre 55 et 60°C pendant toute la journée, il faut mettre en marche le cumulus,

Figure III.12 : Evolution des différentes températures mesurées avec le temps (Journée 02/06/2007).

La figure (III.12) montre que l'ensemble (CES +CUMULUS) peut satisfaire la demande imprévisible de la cuisine.

III.5.2. Etude du comportement du consommateur

Un aspect important de l'étude expérimentale était de quantifier avec précision la consommation de l'eau chaude pendant toute la période de déroulement des mesures. L'objectif est de comprendre le comportement des usagers (cantine) et son influence sur le fonctionnement du système. Le suivi permanent de la consommation d'eau chaude de la cuisine a montré que le puisage est très variable d'un jour à l'autre (voir Figure (III.11)) et ce en fonction des paramètres suivants :

- Le plat servi.
- Nombres de plats.
- La température de l'eau à l'utilisation. -
- Conditions climatiques (T° ambiante).

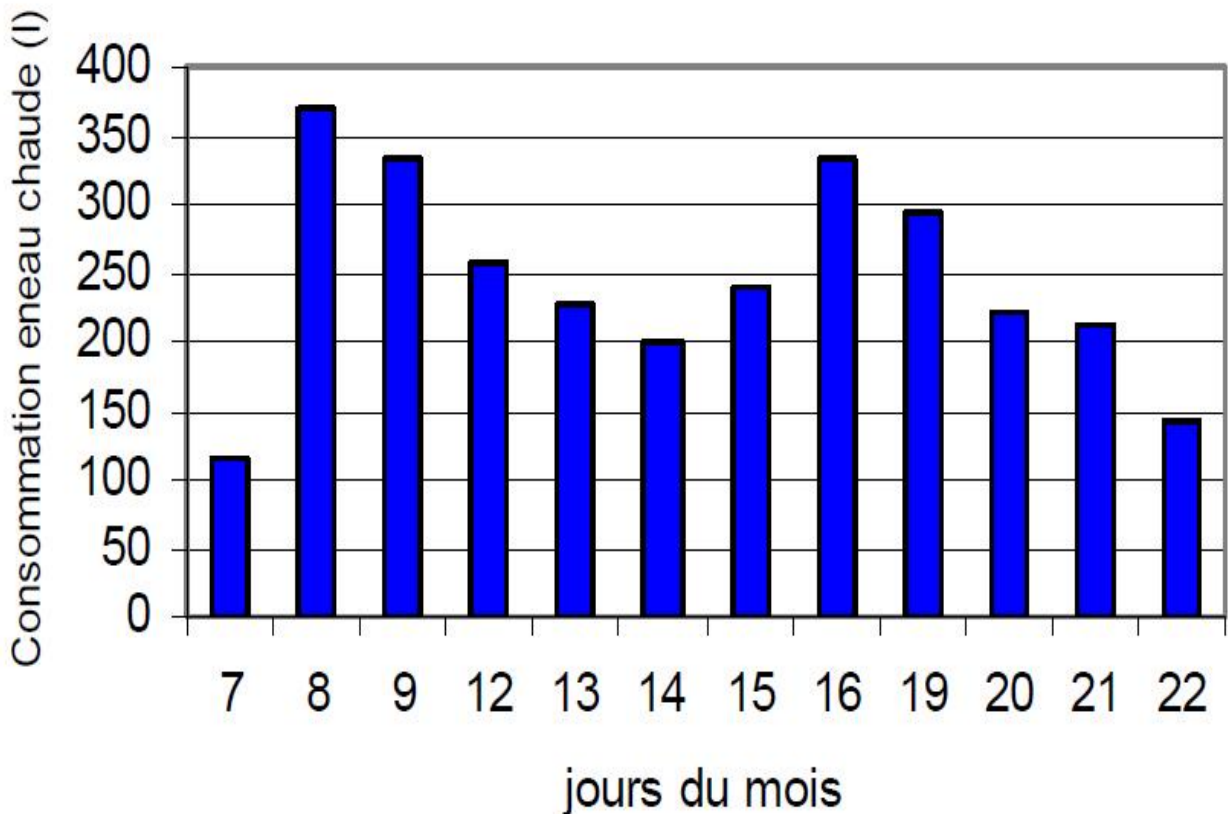


Figure III.13 : Variation de la consommation journalière pendant le mois de Mai.

Il a été constaté, également, que dans la journée, le profil de consommation présente deux pics à 11h00 et à 14h00 (Voir Figure (III.12)). Le premier pic de 11h00 est dû à l'utilisation excessive de l'eau chaude pendant la préparation du repas, alors que le deuxième pic de 14h00 est relatif à l'opération de nettoyage.

L'analyse des profils de puisages confirme ce que l'on savait sur la grande variabilité des consommations d'eau chaude d'un jour à l'autre et dans le même jour. C'est une caractéristique que l'on ne prend assez en compte lors de la modélisation des systèmes individuels.

Journée du 08 Mai 2007

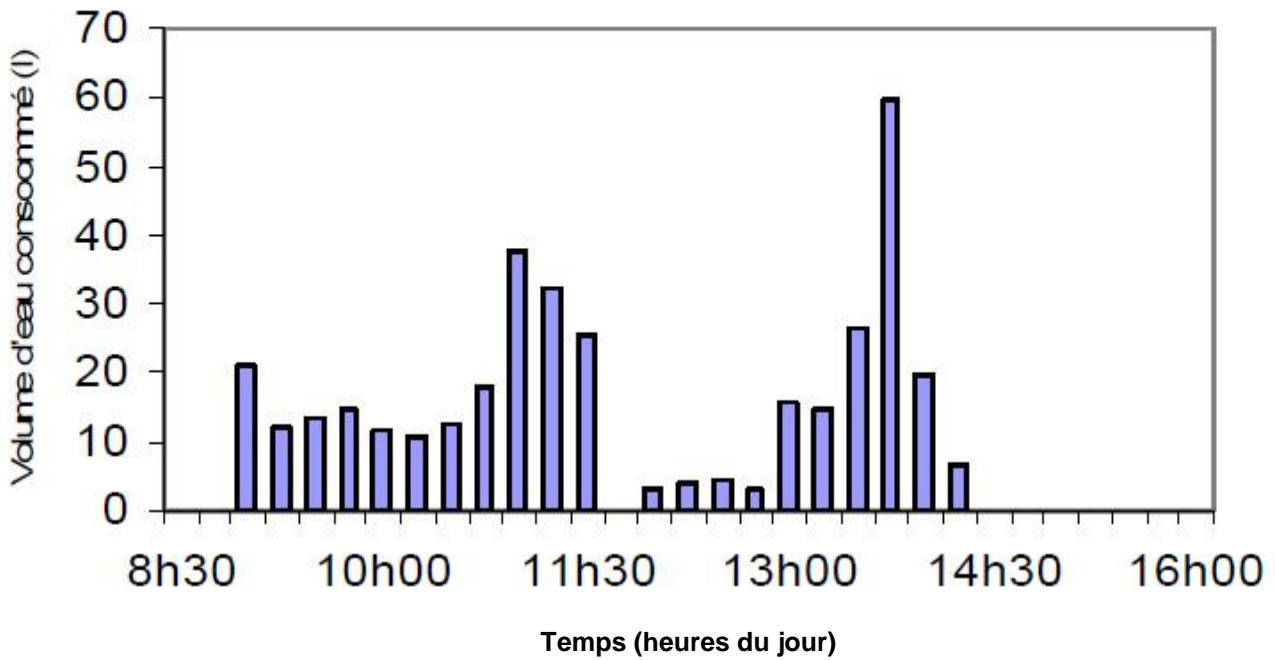


Figure III.14 : Exemple d'un profil de consommation journalière.

III.5.2.1. Influence de la température de puisage sur la consommation journalière :

Il est également constaté que lorsque le chauffe-eau solaire produit de l'eau chaude sans appoint, la consommation de la cantine en eau chaude est relativement élevée. Cela prouve que la température de l'eau chaude est un paramètre très important dans la gestion de la consommation de l'eau chaude. Le tableau 3 résume clairement cette tendance.

Température de l'eau chaude (°C)	Consommation journalière en eau chaude (l)
45	320
60	217
70	220

Tableau 3 : Consommation de l'eau chaude / température de consigne.

III.5.3. Etude des économies d'énergie réalisées

Dans la première phase, nous avons étudié le système chauffe-eau solaire/Cumulus sans mise en marche de la résistance électrique.

Les résultats obtenus pendant une semaine montrent que la production solaire et le rendement de la boucle solaire croissent linéairement avec la consommation de l'eau chaude, Figure (III.13).

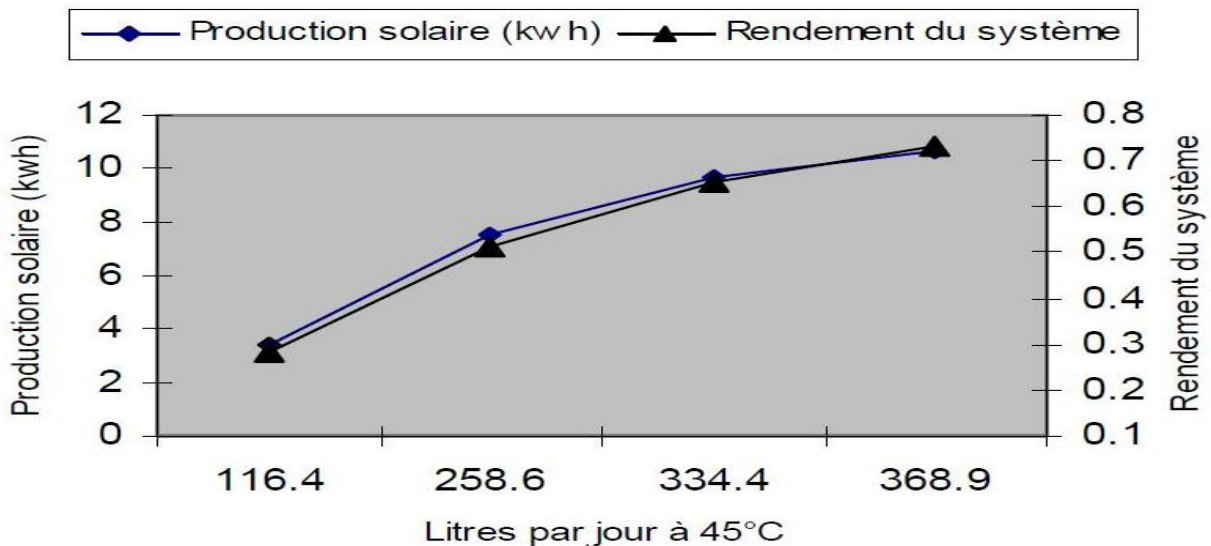


Figure III.15 : Evolution de la production solaire et du rendement du système.

III.5.3.1. Evaluation des économies d'énergie

Dans cette partie de l'étude, nous avons étudié l'influence des conditions de l'éclairement solaire sur la consommation électrique de l'appoint. Nous avons également évalué l'influence de la température de consigne de l'appoint sur les économies d'énergies que l'on peut réaliser.

Les résultats obtenus montrent clairement que la consommation électrique de l'appoint décroît avec la puissance solaire reçue (voir Figure (III.13)), cette tendance prouve que le chauffe-eau solaire avec appoint séparé est un système où le cumulus fonctionne en parfaite

T° de consigne	Quantité d'eau (L)	E _{ELEC.} (KWH)	Economie réalisée (KWH)
60	220	2.46	7.62
70	220	4.49	8.38

Le tableau montre qu'un abaissement de la température de consigne de 10°C peut réduire la consommation de l'énergie électrique de 50%.

III.6. Conclusion

Il est à conclure que :

- L'appoint électrique joue un rôle décisif pour limiter la quantité d'eau chaude consommée. Le système étudié montre une fois de plus que le chauffe-eau solaire est un dispositif qui peut réaliser des économies d'énergie importantes.
- L'optimisation de la température de consigne de l'appoint est un élément décisif pour avoir des économies en énergie.

CONCLUSION GENERALE

L'étude menée à L'UDES consiste, dans une première phase, à tester et évaluer le système (ces\cumulus) dans un cas d'utilisation réel qui est l'alimentation de la cantine en eau chaude sanitaire.

le dispositif expérimental mis en place est conçu pour suivre et déterminer le profil de consommation d'eau chaude de la cuisine, la consommation électrique du cumulus et la contribution de l'énergie solaire dans un système de production de l'eau chaude sanitaire.

En résumé, les objectifs du projet sont :

- * étude et évaluation des économies d'énergie réalisées.

- * optimisation des conditions de fonctionnement du système pour réaliser le maximum d'économies.

- * rendre le fonctionnement du ces, indépendant des changements climatiques.

Il est a conclure que :

- * l'appoint électrique joue un rôle décisif pour limiter la quantité d'eau chaude consommée.

- * le système étudié montre une fois de plus que le chauffe-eau solaire est un dispositif qui peut réaliser des économies d'énergie importantes.

- * l'optimisation de la température de consigne de l'appoint est un élément décisif pour avoir des économies en énergie.

Appendice

La puissance utile est donnée par :

$$P_u = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_s - T_f)$$

Avec :

V : Volume d'eau chauffée

λ : masse volumique de l'eau

C_p : Chaleur spécifique La puissance solaire reçue : $p_a = (\alpha \cdot \tau \cdot I)$

Avec :

T_s : Coefficient d'absorption du capteur

T_f : Coefficient de transmission du capteur

I : Rayonnement global reçu sur le plan de capteur La fraction solaire est :

$$F_S = 1 - \frac{P_{AUX}}{P_u}$$

p_{AUX} : Puissance consommée par l'appoint

La production solaire :

$$P_S = F_S \cdot P_u$$

Le rendement de la boucle solaire

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

Bibliographie

- Décret exécutif N° :25-495 relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommations d'énergie - décembre 2005.
 - G. BOUCHAUD "Caractérisation et amélioration des systèmes solaires thermiques fonctionnant en thermosiphon" -Rapport intermédiaire- ADEME, Avril 2005.
 - C. BUSCARLET et D. CACCAVELLI " Suivi et évaluation énergétiques du plan soleil, Chauffe-eau solaires individuels, Synthèse du programme" ADEME 2006.
 - Algérie énergie solaire et hydrogène AMARDJIA-ADNANI HANIA
 - « Manuel pour la conception, le dimensionnement et la réalisation des installations collectives » ; ADEME
Avril 2002
 - « Thermique solaire » Yves JANNOT Octobre 2003
 - Chauffe-eau solaire individuel auteur: R. Jules , E. Marguet , F.Mykieta
- Nombre de pages : 150 pages
Date de parution : 03/07/2008
-<http://www.apb-energie.fr>
-<http://www.energieplus-lesite.be>

Résumé

Cette étude se concentre sur chauffe-eau par l'énergie solaire leur utilisation pour la consommation Sanitaire et domicile , tel que , nous concentrons sur ce système à partir d'étude de leur composantes, Méthode d'exploitation , et leur avenage , et l'étude de l'influence de la température sur la production de l'énergie , cette énergie présenté à degré de la température de l'eau chauffé.

ملخص

هذه الدراسة تتركز على تسخين الماء بالطاقة الشمسية واستعماله للأغراض الصحية و المنزلية حيث يركز على هذا النظام من خلال دراسة مكوناته وطريقة تركيبه وكيفية تشغيله ومزاياه ودراسة تأثير درجة الحرارة على الطاقة الناتجة المتمثلة في درجة حرارة الماء الساخن .