N° Ordre...../Faculté/UMBB/2016

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES

Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

Mémoire de fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme :

MASTER

Présenté par :

AHMED BEHALIL

MOHAMED AMINE

Filière : Automatisation et Electrification des Procédés Industriels
Option : Electricité Industrielle

Thème

Dimensionnement et Expérimentation d'un Chauffe Eau Solaire Individuel.

Devant le jury :

Hamadache.M	MC/B	UMBB	Président
TADJER.SD	MA/A	UMBB	Examinateur
KHELIFI.F	MA/A	UMBB	Examinateur
FATIHA SAHNOUNE	M.RECHERCHE	C.D.E.R	Encadreur

Année Universitaire : 2015/2016

Remerciement

Je tiens, en premier lieu à remercier Dieu le tout puissant de m'avoir donnée le courage, la volonté et la patience de mener à terme le présent mémoire.

Je remercie vivement mon encadreur, Docteur SAHNOUNE FATIHA Maitre de Recherche au CDER, pour sa disponibilité et ses précieux conseils, son expérience dans le domaine ma été d'une grande utilité.

Je remercie également le Co-encadreur de thèse, Monsieur TADJER SIDAHMED pour son suivi tout au long de cette étude.

Mes remerciements s'étendent également aux membres de jury pour l'honneur qui m'ont fait pour examiner ce travail.

Mes vifs remerciements à tous les enseignants du département d'automatisation et d'électrification des procédés industriels. Tous ceux qui sont contribué de prés ou de loin à ma formation pendant cinq années trouvent ici mes sincères remerciements.

Je tiens enfin à exprimer ma gratitude à tout l'équipage du Centre de Développement des Energies Renouvelables C.D.E.R pour leurs soutient.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A ma très chère mère ;

Aucune dédicace ne saurait éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A ma tres chère tante ;

Recevez à travers ce travail, toute ma gratitude et mes profonds sentiments. Dieu le tout puissant vous accorde une meilleure santé.

A la source de mon inspiration mon **frère** et **sœur** Amani et Ali ;

A tous mes **ami(e)s** et a ceux qui je dois de l'amour et de la reconnaissance ;

Mohamed Amine

Table de matières

Liste de figures

Liste des tableaux

Nomenclature

Introduction générale…….....01

Chapitre I Généralités sur les Chauffe Eau Solaires……..…04

I.1 Introduction……...…...04

I.2 Soleil……..…04

I.3 Le gisement solaire……...…05

I.3.1 Caractères particulières …….....05

I.4 Potentiel solaire en Algérie …….…..06

I.5 Energie solaire incidente……07

I.5.1 Composantes du rayonnement solaire…….….07

I.5.2 La position du soleil……..09

I.6 Les installations de production d'eau chaude solaires ……11

I.6.1 Les capteurs solaires ……...……..12

I.6.1.1 Les capteurs solaires plans ……..……12

I.6.1.2 Les capteurs solaires à concentration……...21

I.6.1.3 Inclinaison des capteurs (CSP)……22

I.6.2 Le stockage ……..……23

I.6.3 Le système d'appoint……24

I.6.4 La régulation électronique et le monitoring …….…25

I.6.4.1 Régulation des pompes dans le cas d'un échangeur intégré au stockage….25

I.6.4.2 Régulation des pompes dans le cas d'un échangeur externe……...26

I.6.4.3 Les thermomètres à l'aller et au retour des capteurs ……...28

I.6.4.4 Le débitmètre manuel……...28

I.6.4.5 Le compteur d'énergie …….29

I.7 Chauffe Eau Solaire Individuel (CESI)……30

I.7.1 Définition…….30

I.7.2 Les composants d'un chauffe eau solaire individuel……30

I.7.3 Fonctionnement d'un chauffe-eau solaire individuel et aspects techniques…….31

I.7.3 La nécessité d'un chauffage d'appoint……...32

I.8 Conclusion…….....33

Chapitre II dimensionnement et simulation de l'installation de production d'eau chaude……..34

II.1 Introduction…….34

II.2 Le dimensionnement d'une installation étudiée……..34

II.3 Dimensionnement des principaux composants de l'installation……..35

II.4 Simulation de l'installation……...36

II.5 Condition d'un bon dimensionnement …….39

II.6 Résultats de dimensionnement……..40

II.7 Interprétation des résultats de dimensionnement……..41

II.8 Conclusion……45

Chapitre III étude expérimentale…….46

III.1 Introduction…….….46

III.2 Description du banc d'essai (Bouzareah) …….46

III.2.1 Orientation : plein sud……46

III.2.2 Emplacement……..46

III.2.3 Orientation et inclinaison……...……47

III.3 Déroulement de l'expérimentation……47

III.3.1 Paramètre à mesurer……...……47

III.3.2 Mesure des températures de l'eau……..48

III.3.2.1 Au niveau de la cuve de stockage et des capteurs……48
III.4 Principe d'un thermocouple……..48
III.4.1 Choix des thermocouples ……..48
III.4.2 Normalisation des thermocouples……..49
III.5 Mesure de l'éclairement globale incliné ……..49
III.6 Enregistrement des données……..50
III.7 Enregistreur LINSEIS L2200……50
III.8 Affichage des valeurs de mesure……51
III.9 Conclusion…….52
Chapitre IV résultats et interprétation…….53
IV.1 Introduction……53
IV.2 Comparaison entre les résultats théoriques et expérimentaux……...53
IV.2.1 Evolution de la température de la plaque en fonction du temps……..53
IV.2.2 Evolution de la température d'entrée et de sortie du champ de captation……54
IV.2.3 Evolution de la température ambiante en fonction du temps ……...54
IV.2.4 L'évolution de la température de l'eau dans la cuve en fonction de la hauteur……54
IV.2.5 Evolution de la température de l'eau dans la cuve de stockage ……...54
IV.3 Conclusion……..59
Conclusion générale……60
Références bibliographiques

Liste des figures

Figure I.4: Carte solaire de l'Algérie…….……07

Figure I.5.1 : Composantes du rayonnement incident…….……09

Figure I.5.2.1 : position du soleil…….……09

Figure I.5.2.2: Hauteur et azimut du soleil…….……..10

Figure I.6 : Schéma d'une installation de production d'eau chaude solaire……..11

Figure I.6.1.1: Constituants d'un capteur plan vitré……..14

Figure I.6.1.1.1: Absorbeur et revêtement sélectif……...…….15

Figure I.6.1.1.2: Absorption α et émission ε du rayonnement de divers types de revêtements……...16

Figure I.6.1.1.3: Transmission du rayonnement verre prismé et verre trempé…….……18

Figure I.6.1.1.4: Transmission du rayonnement par verre standard et verre antireflet….……18

Figure I.6.1.1.5 : Composants d'un capteur tubuleur sous vide……...…….20

Figure I.6.1.1.7 : Capteur à vide (a) et témoin pour contrôle du vide dans le collecteur (b)....20

Figure I.6.1.2: Composants d'un capteur à concentration…….…22

Figure I.6.1.3: Inclinaison préconisée des capteurs solaires…….23

Figure I.6.2: Stratification dans le boiler…….24

Figure I.6.3.1: L'appoint électrique ……25

Figure.6.3.2 : L'appoint chaudière au gaz ou au mazout……..……..25

Figure I.6.4.1 : Schéma d'un dispositif avec régulation différentielle…….26

Figure I.6.4.2 : Schéma d'une régulation différentielle (échangeur externe):…….27

a) avec ajout sonde de température…….……27

b) avec ajout sonde crépusculaire…….27

Figure I.6.4.3: Les thermomètres……..28

Figure I.6.4.4: Le débitmètre manuel……29

Figure I.6.4.5: Le compteur d'énergie…….…….29

Figure I.7.2 :composants des chauffe eau solaires……31

Figure I.7.3 installation de chauffe eau solaire individuel……...…….31

Figure II.2 : Schéma de l'organigramme de dimensionnement de l'installation……...35

Figure II.4.1: choix de la station étudiée……..37

Figure II.4.2: la consommation moyenne mensuelle……37

Figure II.4.3: le stockage de l'installation……38

Figure II.4.4: la constante de refroidissement……..38

Figure II.4.5: type du capteur 1……39

Figure II.4.6: caractéristiques techniques du capteur 2……39

Figure II.7.1: L'évolution mensuelle de la température ambiante……42

Figure II.7.2: l'évolution de la température d'eau froide…….42

Figure II.7.3: besoins d'eau chaude sanitaire……43

Figure II.7.4 : apport solaire mensuel……...43

Figure II.7.5: Irradiation sur les capteurs…….44

Figure II.7.6: Taux de couverture solaire…….44

Figure III.7.1:échelle de l'enregistreur……..50

Figure III.7: enregistreur LINSEIS……...50

Figure III.6 : enregistreur OMEGA …….51

Figure III.5: pyranométre utilisé pour mesurer l'intensité du rayonnement globale……51

Figure IV.1: évolution de la température de la plaque en fonction du temps……..55

Figure IV.2 L'évolution de la température ambiante en fonction du temps……55

Figure .IV.3 L'évolution de la température d'entrée et de sortie du capteur, Obtenues expérimentalement……56

Figure IV.4: Courbe théorique de L'évolution de Te de la cuve……..56

Figure IV.5 :courbe experimentale de levolution de Te de la cuve……..57

Figure IV.6 : L'évolution des températures d'entrée et de sortie du capteur, obtenues théoriquement……57

Figure IV.7 :. L'évolution de la température d'entrée du capteur……58

Figure IV.8 L'évolution de la température de sortie du capteur……..58

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques principales du soleil…….……05

Tableau II.4: représentative du potentiel solaire en Algérie…….06

Tableau II.5.1: répartition de l'énergie solaire dans les bandes du spectre du rayonnement....08

Tableau II.6.1.1 : Caractéristiques de certains absorbeurs……..15

Tableau I.6.1.3 : inclinaison des capteurs solaires……22

Tableau II.6.1: données météo…….....40

Tableau II.6.2: caractéristiques des capteurs…….40

Tableau II.6.3: caractéristiques du stockage (ballon)……40

Tableau II.6.4: résultats mensuels…….……41

Tableau II.6.5 : résultats annules……..41

Tableau III.1: paramètres du site Bouzareah Alger……..46

Tableau III.4.2:la normalisation de thermocouple……49

Introduction générale

Aujourd'hui, plus de 85% d'énergie utilisée dans le monde provient de gisement de combustible fossile (charbon, pétrole, gaz) ou d'uranium, constitués au fil des âges et de l'évolution géologique.

La limitation de la quantité de ces réserves, la crise successive du pétrole en 1973 et l'accroissement de la demande d'énergie dans tous les pays du monde ont conduit les pays industrialisés à chercher et a développer de nouvelles sources d'approvisionnement. La filière nucléaire était déjà lancée, mais son choix à grande échelle peut amener des conséquences graves, surtout à l'environnement, a cause de la pollution et aussi les accidents nucléaires, le réchauffement climatique…etc. [1]

C'est ainsi que dans le contexte actuel de prise de conscience généralisée des incertitudes énergétiques et de la nécessité de lutter contre le réchauffement climatique, un recours progressif à d'autres sources d'énergie non épuisables et non polluantes est incontournable. C'est ainsi que dans plusieurs pays, les énergies renouvelables sous toutes leurs formes prennent une part de plus en plus prépondérante dans leur mix énergétique. Elles ont toutes l'immense avantage d'être d'origines naturelles [2]

Les énergies renouvelables ont connu une première phase de développement à l'occasion des chocs pétroliers de 1973 et 1978, puis une période de repli après le contre-choc de 1986, avant de retrouver un second souffle en 1998 à la suite de la signature du protocole de Kyoto, protocole qui prévoit notamment une baisse de 5.2% des émissions de gaz à effet de serre des pays riche sur la période 2002-2012 par rapport à 1990.[3]

L'Algérie pays riche en pétrole et gaz, mais aussi en énergie solaire dont le potentiel énergétique dépasse les 3000h d'ensoleillement par an, pour cela elle est classée la première au monde, consiste de l'enjeu environnementaux et économique de ces énergies, œuvre pour faire avancer la recherche et encourager les investissements dans ce domaine dont l'application est basée essentiellement sur le thermique et le photovoltaïque [4].

L'action la plus importante dans la stratégie algérienne est sans aucun doute, le nouveau programme national de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique annoncé en 2011. Ce nouveau programme prévoit l'installation d'une puissance de 22 000 MW d'électricité (dont 12 000 MW destinés au marché local et 10 000 MW pour l'exportation) à partir du solaire à l'horizon 2030. Il s'agira de produire 40% d'électricité et de chaleur à partir du solaire d'ici 2030. Ce programme contribue également au renforcement de

la stratégie nationale de lutte contre les changements climatiques et aura des retombées très importantes sur la réduction des gaz à effet de serre (GES). Ceci est d'autant plus important que l'Algérie est très vulnérable aux changements climatiques. Même une faible augmentation de la température conduirait à divers problèmes socio-économiques qui entraveraient le développement du pays. Le secteur de l'énergie est responsable d'environ 75% des émissions de GES et c'est naturellement dans ce secteur que réside le plus grand potentiel de réduction des émissions.

Dans le domaine de l'efficacité énergétique, les actions prévues par le programme portent, entre autre, sur le secteur du logement où le solaire thermique trouve de nombreuses applications. Les mesures proposées comprennent le développement de chauffe-eau solaires à des fins domestiques. L'objectif consiste à installer 100000 m^2 de capteurs solaires correspondant à 50000 chauffe-eau solaires individuels et 50000 m^2 pour les systèmes collectifs à l'horizon 2020.

La production de l'eau chaude et son utilisation dans notre pays par le biais de l'énergie solaire a certainement à l'heure actuelle, les meilleures chances de rentabilité. En effet, d'une part l'échelle des températures obtenues par les capteurs plans, et d'autre part, le besoin en eau chaude sanitaire se fait sentir aussi bien en été où l'énergie est abondante qu'en hiver. [5]

Les chauffe eau solaires (CES), qui sont disponibles de nos jours sous diverses configurations, offrent une grande fiabilité et efficacité et des avantages environnementaux significatifs .Dans les logements, ils peuvent satisfaire la demande en eau chaude et permettent de réduire les factures d'énergie de 40% ou plus. L'importance des systèmes solaires thermiques se reflète dans le développement accru de la capacité installée. À la fin de 2012, le nombre de systèmes en exploitation dans le monde était d'environ 78 millions d'unités. Sur l'ensemble des systèmes thermiques solaires installés, 78% sont des CES individuels et 17% des CES collectifs. Le reste, environ 4%, se rapporte à des systèmes solaires combinés qui fournissent l'eau chaude sanitaire et le chauffage des locaux.

Le manque d'enthousiasme pour les équipements solaires thermiques et la faiblesse du marché en Algérie, sont principalement dus au manque d'expériences dans les systèmes collectifs et une connaissance insuffisante sur les performances réelles des systèmes existants. Il y a aussi peu d'informations sur la durée d'amortissement de l'investissement ainsi que les avantages environnementaux et économiques.

Il existe une littérature abondante sur les performances des CES individuels, mais beaucoup moins sur les systèmes collectifs et la mise en œuvre de la garantie de performance solaire.

Une approche axée sur la qualité des équipements a été testée au cours des dernières années dans certains pays européens où les fabricants ont mis au point une garantie de performance solaire. Cette garantie entre le client et le fabricant fait appel au monitoring et au contrôle sur site des résultats. Dans le cas de grandes installations collectives, ce contrôle peut être effectué par un dispositif de télésurveillance. La nécessité d'une surveillance s'explique par le fait que dans l'installation solaire de production d'eau chaude, le dysfonctionnement n'est pas visible. Grâce à l'appoint (gaz naturel ou électricité), l'énergie est disponible mais le système de production d'énergie solaire peut-être hors service pendant une longue période avant que l'utilisateur ne s'en aperçoive. En mesurant différents paramètres tels que l'irradiance solaire, les températures de l'eau, le fonctionnement des pompes de circulation, la consommation en eau chaude, etc., la télésurveillance permet d'avoir une parfaite maîtrise du fonctionnement de l'installation solaire. En cas d'anomalie, des alarmes peuvent prévenir le service de maintenance. La télésurveillance permet également de mesurer l'énergie réelle fournie par le système de chauffe eau solaire et de vérifier la conformité avec la performance énergétique calculée ou garantie. Il s'agit donc d'un outil essentiel pour montrer la qualité et la durabilité des grandes installations de chauffe eau solaires.

C'est ainsi que notre travail s'articule autour de 4 chapitres:

Après avoir présenté en introduction, le contexte et l'objectif de l'étude, nous présentons en chapitre I le gisement solaire en Algérie, et des généralités sur l'application du solaire thermique dans la production d'eau chaude sanitaire. Les composants, le fonctionnement et la régulation des chauffes eau solaires individuels seront présentés de manière explicite.

Le chapitre II aborde les aspects de dimensionnement d'une installation solaire individuel. Le chapitre III est dédié à la présentation de l'expérimentation l'installation étudiée et aux résultats de la simulation.

Dans le chapitre IV, nous développons les résultats expérimentaux et les comparés avec les résultats théoriques. Une conclusion générale résume les principaux résultats obtenus et la formulation de quelques perspectives.

Chapitre I Généralités sur les installations solaires de production d'eau chaude

I.1Introduction

L'énergie solaire est une énergie inépuisable et propre à l'échelle humaine, elle permet de respecter l'environnement et de préserver la santé et les ressources énergétiques, sans produire de déchets ni d'émissions polluantes, notamment du gaz carbonique.

Au-delà des enjeux environnementaux et de l'impact sur la production de gaz à effet de serre, l'eau chaude représente une part non négligeable de la facture énergétique d'un bâtiment ou toute entreprise ou institution publique qui consomme d'importantes quantités d'eau chaude pourrait réaliser des économies grâceau chauffage solaire de l'eau.

I.2 Le soleil

Le soleil est la seule étoile du système solaire et la plus proche de la terre, sa lumièremet environ 8 mn à nous atteindre. La deuxième étoile la plus proche est Proxima deCentaure située à 4.23 années lumières du soleil mais la grande distance qui nous sépare decette étoile fait que le soleil soit la seule étoile qui assure la vie sur terre [1].

Sur le plan humain, le soleil a une importance primordiale car il est à l'origine de lavie sur terre, en lui fournissant d'énormes quantités d'énergie, qui permet la présence del'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement solaire est aussiresponsable du climat et des phénomènes météorologiques [1].

Diamètre (km)	$14x10^5$
Masse (kg)	$2x10^{30}$
Surface (km^2)	$6.09x10^{12}$
Volume (km^3)	$1.41x10^{18}$
Masse volumique moyenne (kg/m^3)	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	$2.5x10^{47}$

Tableau I.1 : Caractéristiques principales du soleil

I. 3 Le gisement solaire

De toutes les sources d'énergie renouvelables disponibles, l'énergie solaire est la plus abondante. La production totale d'énergiedu soleilest de $3,8x10^{20}$MW.Cette énergie rayonnevers l'extérieur danstoutes les directions mais seule une infime fraction, $1,7x10^{14}$kW, du rayonnementtotal émis estinterceptée par la terre qui est distante de 150 millions de kilomètres du soleil. Environ 60% de cette énergie, soit 1,08x 10^{14} kW, atteint la surface de la terre. Le reste est réfléchi dans l'espace et absorbé par l'atmosphère. La puissance maximale reçue à l'extérieur de l'atmosphère sur une aire d'un mètre carré est d'environ 1350 W (constante solaire). Il est également intéressant de noter que le rayonnement solaire reçu sur terre annuellement (environ 3,4 millions EJ) équivaut à plus de 7000 fois le total de la consommation annuelle mondiale en énergie primaire (491 EJ). Ainsi, la terre reçoit du soleil en seulement 1 h, plus d'énergie que celle consommée par le monde durant 1 an.

I.3.1 Caractères particuliers :

L'énergie solaire est la seule source d'énergie externe de la terre, elle présente lespropriétés suivantes [6]:

· Elle est universelle, sa densité de puissance maximale est de 1kW/m2 à midipar ciel bleu sur toute la planète.

· La densité de puissance maximale reçue au niveau du sol (1 kW/m2) est peudense on parle alors d'énergie diffuse.

· Elle est abondante, notre planète reçoit plus de 104 fois l'énergie quel'humanité consomme.

· Elle est intermittente et variable à cause de l'alternance du jour et de la nuit,des variations saisonnières et quotidiennes de l'ensoleillement.

· L'énergie reçue par une surface donnée n'est pas récupérable en totalité ceciest dû aux pertes d'énergie sous formes conductrice, convective ou rayonnante.

· Elle est propre.

I. 4 Potentiel solaire en Algérie

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaire les plus élevés au monde.

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m²/an au Nord et 2650 kWh/m²/an au Sud du pays. Ce gisement solaire dépasse les 5 milliards de GWh.[2]

Régions	Région côtière	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (Kwh/m²/an)	1700	1900	2650

Tableau II.4: représentative du potentiel solaire en Algérie

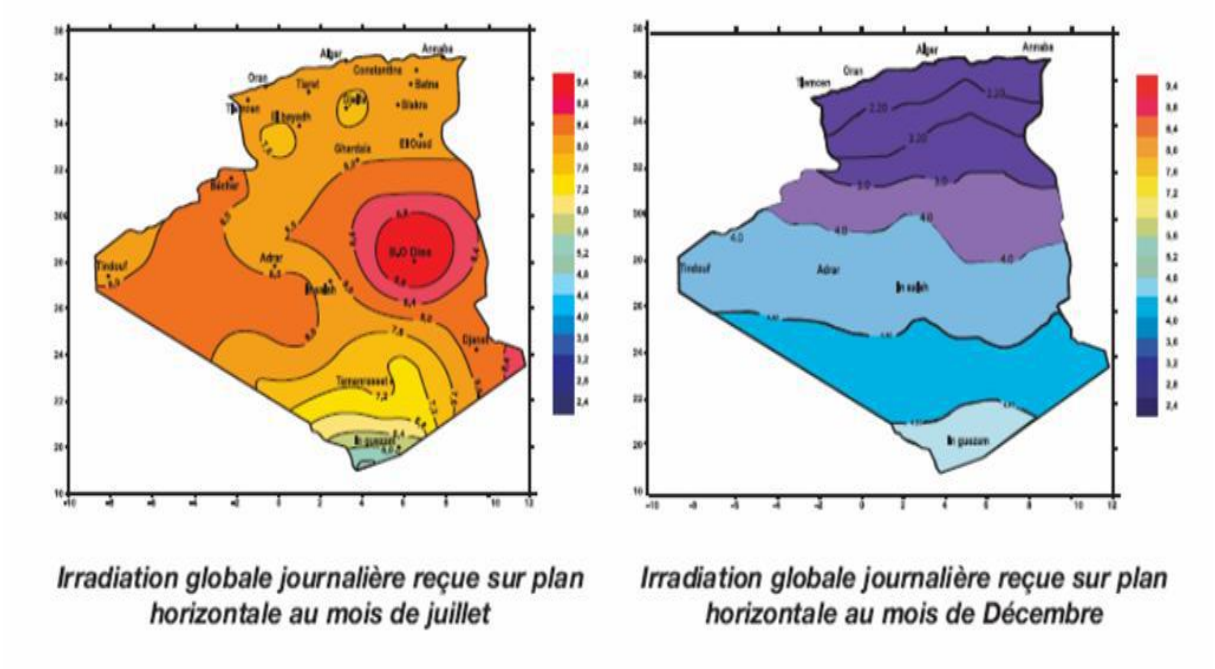


Figure I.4:Cartesolaire de l'Algérie

Ce gisement solaire dépasse les 5 milliards de GWh, soit 10^8 fois la consommation nationale en électricité.

Les estimations du Centre aérospatial allemand (DLR) aboutissent aux données suivantes:

- Une surface de 1 Km² du Sahara peut générer 50 MW d'électricité ou une production de 200 à 300 GWh / an

- Une surface saharienne de 1 km² permet d'éviter l'émission de 200000 TCO_2/an

En d'autres termes, la couverture en panneaux de 0,4 % de la surface du Sahara produirait toute l'électricité que nécessite l'Europe des 25. Une couverture de 2% du Sahara répondrait aux besoins actuels de la planète.

Les larges espaces, le relief plat, le climat peu humide et les moyens de transport existants renforcent cet énorme potentiel algérien pour le développement de l'énergie solaire.[2]

I.5 Energie solaire incidente

I.5.1 Composantes du rayonnement solaire

Au cours de sa traversée de l'atmosphère terrestre, le rayonnement solaire est affaibli par la réflexion, les diffusions multiples et l'absorption par les particules de poussières et les molécules de gaz. L'énergie solaire parvenant au sol se compose ainsi de :

- **Rayonnement direct:**C'est la part du rayonnement qui traverse sans encombre l'atmosphère et arrive directement sur la surface terrestre. Ses rayons sont parallèles entre eux et peuvent être concentrés par des miroirs.

- **Rayonnement diffus :** Les molécules présentes dans l'atmosphère font varier la direction du faisceau de rayonnement, provoquant ainsi une dispersion et donnant lieu au rayonnement diffus multidirectionnel qui parvient depuis tout point de la voûte céleste.

- **Rayonnement réfléchi**: appelé parfois albédo, cette composante provient du sol environnant par suite de la réflexion par ce dernier des rayonnements directe et diffus.

La somme de ces trois rayonnements constitue le rayonnement global. Les capteurs

Solaires sont, selon le modèle, en mesure d'utiliser jusqu'à 75 % environ du rayonnement global.

La répartition de l'énergie solaire dans les bandes du spectre du rayonnement thermique est donnée dans le tableau :

Longueur d'onde (µm)	0-0.38	0.38-0.78	0.78
Pourcentage (%)	6.4	48	45.6
Energie (W/m^2)	87	656	623

Tableau II.5.1: répartition de l'énergie solaire dans les bandes du spectre du rayonnement

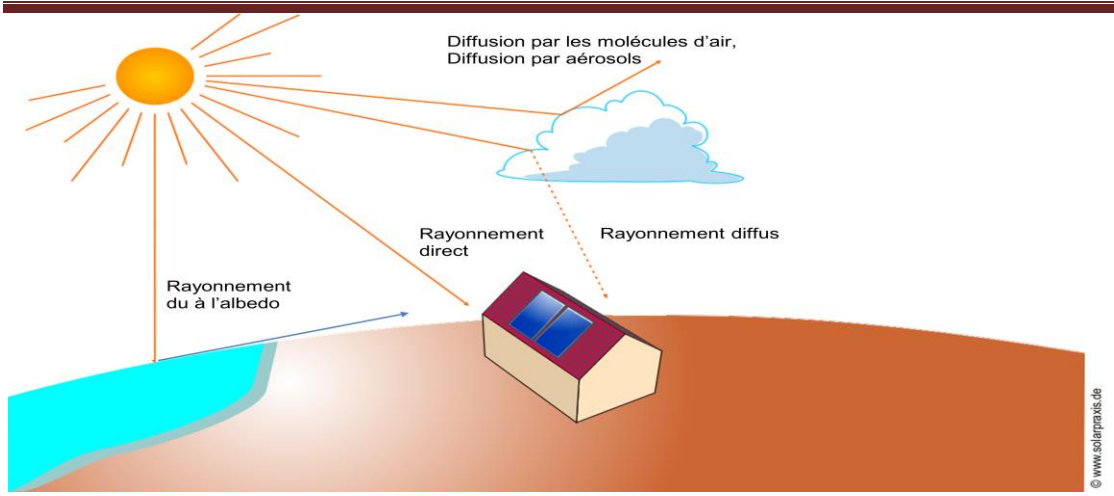


Figure I.5.1 : Composantes du rayonnement incident

I.5.2 La position du soleil

Pour récupérer le maximum d'énergie en provenance du soleil, il est nécessaire d'orienter au mieux le récepteur par rapport aux rayons lumineux. La connaissance de la position du soleil en fonction du temps est primordiale. Cette position du soleil est entièrement déterminée par les composantes que sont la déclinaison, l'azimut et la hauteur du soleil.[5]

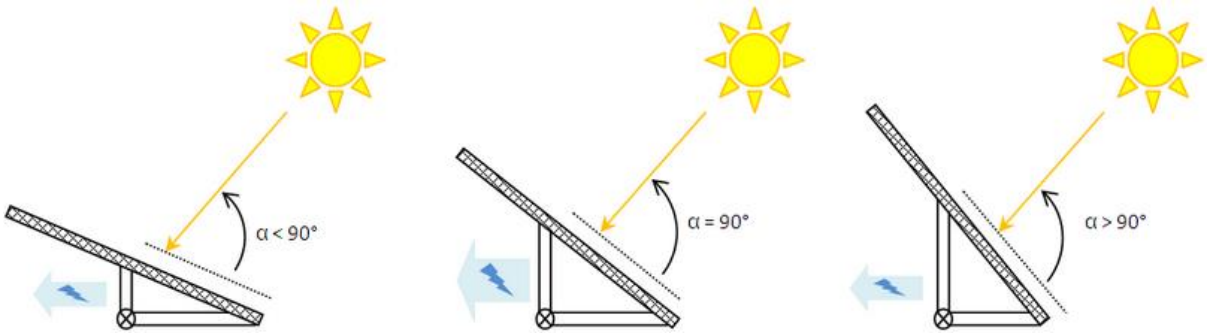


Figure I.5.2.1 : position du soleil

a) Déclinaison solaire δ

C'est l'angle que forme la direction du soleil et le plan équatorial. Elle est due à l'inclinaison de l'axe des pôles terrestre par rapport au plan écliptique, ce qui est traduit par les différentes saisons. Elle varie de manière sinusoïdale au cours del'année entre -23,45° et +23,45°. Elle est nulle aux équinoxes du printemps (21 mars) et d'automne (23 septembre), et maximale aux

solstices d'été (22 juin) et d'hiver (22 décembre).La variation journalière de la déclinaison est d'environ de 0,5°. Elle est calculée par une équation simple approximative [30] :

$$\delta = 23{,}45 \sin\left[\left(\frac{360}{365}\right).(284+j)\right] \qquad (1)$$

b) Hauteur angulaire du soleil "*h*"

C'est l'angle entre l'horizon et l'objet. Elle varie entre 0° (horizon) et 90° (zénith). Il est cependant possible d'obtenir des valeurs négatives lors d'une observation à partir d'un lieu élevé. Le point situé aux pieds de l'observateur (-90°) est appelé le nadir.

c) Azimut du soleil "a"

C'est l'angleformé par la projection du soleil sur le plan horizontal et la direction du Sud. L'azimut nul correspond à la direction Sud dans l'hémisphère nord et la direction Nord dans l'hémisphère sud. L'orientation Est correspond à l'azimut a = -90°, et l'orientation Ouest à a = + 90° [8]

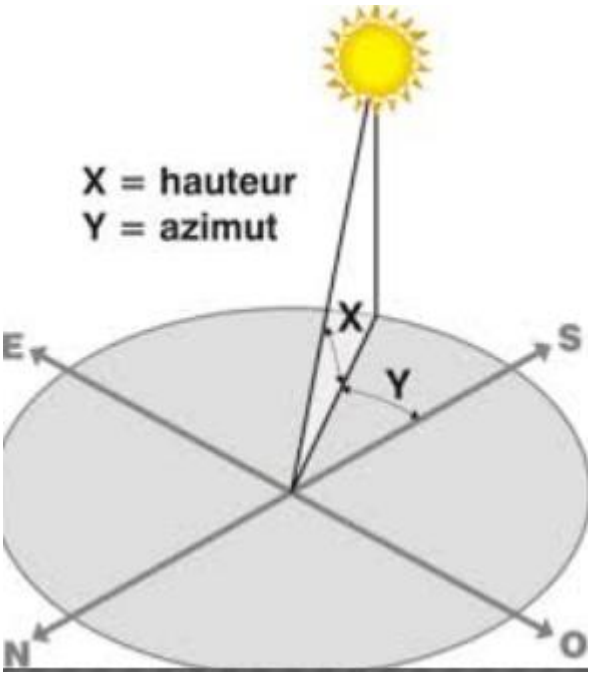


Figure I.5.2.2: Hauteur et azimut du soleil

I.6 Les installations de production d'eau chaude solaires

L'énergie solaire est une source d'énergie propre et abondante qui peut nous aider à combler une bonne partie de nos besoins en énergie. L'énergie solaire peut servir au chauffage, notamment au chauffage de l'eau. Les installations solaires servant au chauffage de l'eau sont appelées « chauffe-eau solaires domestiques»

Du plus simple au plus sophistiqué, les systèmes de production d'eau chaude solaires fonctionnent selon le même principe. L'énergie du rayonnement solaire est transformée en chaleur pour produire l'eau chaude. Celle-ci est ensuite stockée dans un ballon pour être utilisée ultérieurement de jour comme de nuit.

Les CES nécessitent presque toujours une énergie d'appoint pour parer à l'absence du soleil par temps nuageux ou pour les heures où la demande en eau chaude est supérieure aux prévisions.

Les quatres principales parties qui composent les CES ont pour fonction :

- Le captage du rayonnement solaire
- Le transfert et son système de régulation
- Le stockage d'eau chaude et l'appoint
- La distribution vers l'utilisateur

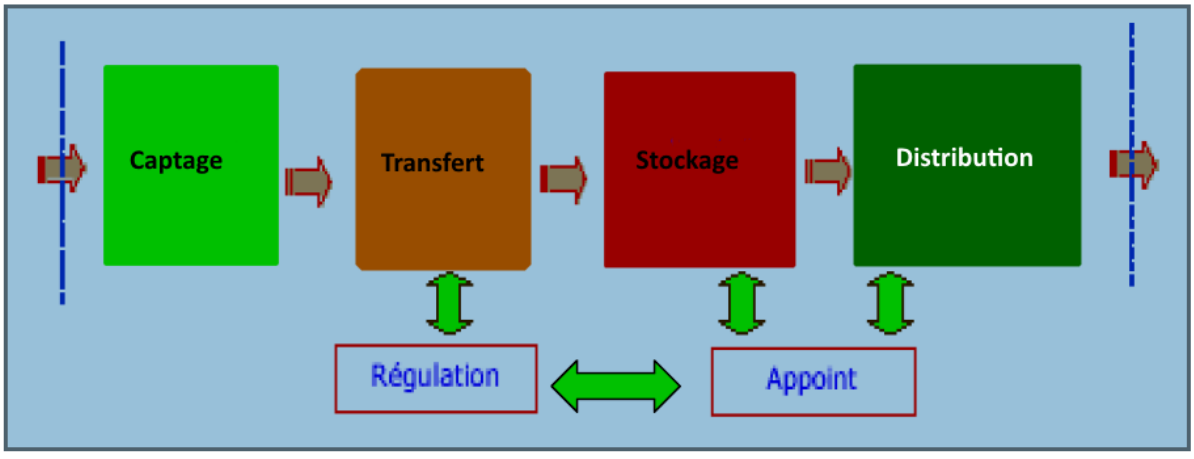


Figure I.6 : Schéma d'une installation de production d'eau chaude solaire

Grâce à des capteurs d'un niveau technique élevé (grande absorption et faible émissivité du rayonnement) et une installation adaptée, l'utilisation économique du solaire thermique est devenue une réalité qui a fait ses preuves dans l'utilisation quotidienne.

I.6.1 Les capteurs solaires

Le capteur solaire ou panneau solaire thermique est un composant majeur de la plupart des équipements solaires. C'est undispositifqui absorbelerayonnement solaire incident, le convertit en chaleur, ettransfert cettechaleur à un fluide caloporteur (habituellement de l'eau) circulant à travers lecapteur.

En définitive, un capteur solaire thermique doit accepter le maximum de rayonnement solaire (transmittanceélevée), en absorber la majeure partie (absorbance élevée), en émettre et en laisser sortir le moins possible (transmittanceréduite dans les ondes longues).

Les deux principaux types de capteurs solaires:

- Les capteurs solaires plans utilisés pour les températures de moins de 80°C
- Les capteurs solaires à concentration pouvant atteindre des températures de plus de 200°C.

Les capteurs solaires plans qui ont été utilisés dans notre installation feront dans ce qui suit l'objet d'une description détaillée.

I.6.1.1 Les capteurs solaires plans

Le capteur plan (CSP) est le capteur le plus répandu et le mieux adapté aux besoins d'eau chaude sanitaire et de chauffage dans les bâtiments. Ce type de capteur se présente sous forme de caissons de différentes dimensions ou sous forme d'éléments séparés à intégrer directement dans l'architecture des bâtiments. Les surfaces mises enœuvre vont de quelques mètres carrés pour les chauffe-eau solaires individuels à plusieurs centaines de mètres carrés pour les installations collectives.

Les deux types de capteurs plans les plus utilisés sont les capteurs plans vitrés et les capteurs tubulaires à vide

a) **Capteur plan vitré**

Ressemblant à de grandes fenêtres de toit, ont l'absorbeur placé dans un caisson métallique recouvert d'une vitre. L'isolant du caisson métallique et la vitre permettent un effet de serre qui maintient la chaleur de l'absorbeur.

Le capteur plan vitré est bien adapté aux besoins des habitations et reste le capteur le plus répandu. Ses températures de fonctionnement correspondent aux températures de production d'eau chaude sanitaire (ECS) et de chauffage des locaux (jusqu'à 80°C).

Les détails qui vont faire la différence, se trouvent dans la qualité de fabrication du caisson (aluminium, acier inoxydable), la qualité et l'épaisseur de l'isolation autour de l'absorbeur, le vitrage et son traitement anti-réflexion, les joints et l'assemblage.

Un capteur plan vitré est composé:

- D'un caisson
- D'un isolant permettant de limiter les fuites thermiques en sous face et sur les bords
- D'un film réfléchissant
- D'un faisceau de tubes cylindriques,
- D'un absorbeur placé à l'intérieur du coffre
- D'un vitrage fixé sur le caisson

Les tubes sont parcourus par un fluide caloporteur (eau + antigel).

Lorsquele rayonnement solairetraverse uncouvercle transparent et arrive surla surface de la plaque noircie de l'absorbeur, une grande partie decetteénergie est absorbée par laplaqueetensuitetransféréeau fluide caloporteur pourêtreacheminéevers le stockageou l'utilisation. La sous face et les côtés latéraux du boitier du capteur sont bien isolées afin de limiter les pertes par conduction vers l'extérieur. Lestubes du fluide peuvent êtresoudés à laplaqued'absorption, ou font partie intégrantede la plaque. Ils sont également connectésaux deux extrémitésà destubes collecteursdegrand diamètre.

Lacouverture transparenteest également pour rôle de limiter les pertespar convection de la plaqueabsorbeurà travers laretenuede la couche d'air stagnanteentre la plaqueetleverre. Le verreest transparent au rayonnementà ondes courtesreçupar le soleil mais il estpresque opaqueau rayonnement thermiquede grandes longueurs d'onde émis par

laplaqued'absorption(effetde serre). Ce qui réduitles pertes par rayonnementà partir du collecteur.

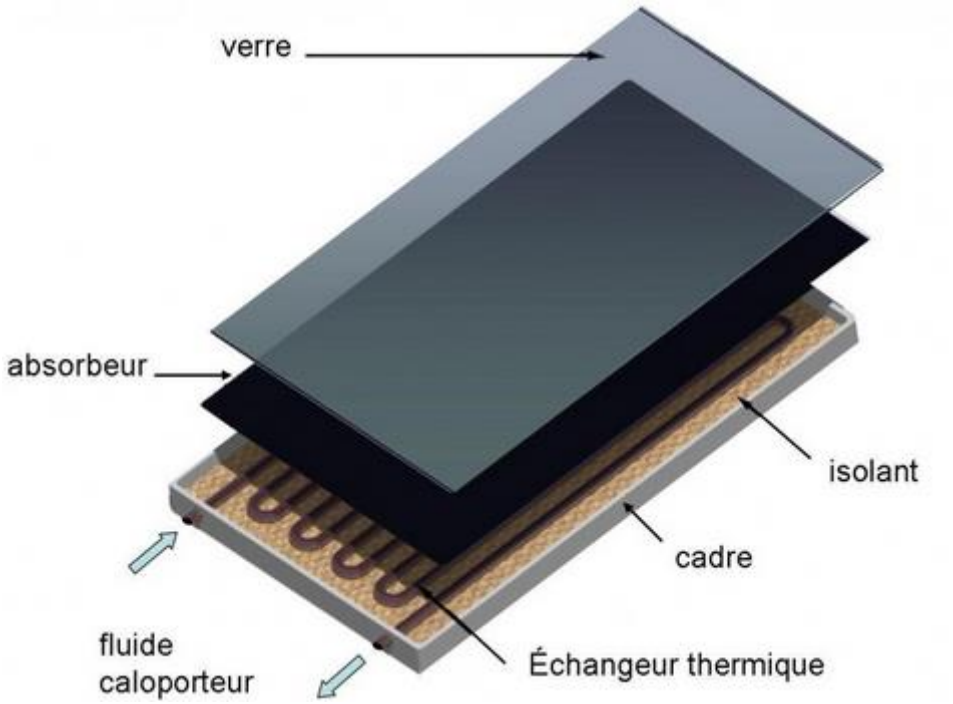


Figure I.6.1.1:Constituants d'un capteur plan vitré

- ***L'absorbeur***

L'absorbeur est l'élément essentiel du capteur solaire plan.il doit absorber la plus grande partie du rayonnement solaire et transmettre la chaleur produite vers le fluide caloporteur avec le minimum de perte. C'est en général une plaque métallique (en cuivre, en aluminium ou en acier), caractérisé par ses propriétés d'absorption, d'émission et de conduction. Le cuivre qui possède, une bonne conductivité thermique et une faible dilatation thermique à température élevée, est le matériau le plus souvent utilisé. Cette plaque sous forme d'une feuille ou découpée en ailettes est de plus pourvue d'un revêtement absorbant mince et lié intimement à la tuyauterie convoyant le circuit caloporteur.

Le rayonnement solaire direct et diffus atteignant l'absorbeur est principalement transformé en chaleur et partiellement réfléchi. La chaleur produite est transmise par conduction au fluide caloporteur.

L'absorbance du rayonnement solaire incident dépend de la natureet la couleur du revêtement. Une hautecapacité d'absorptionet unefaible émissivitéaméliorele potentielde captage del'énergie solaire. Les matériaux utiliséspour absorberl'énergie dusoleilsont ainsi sélectionnés pourleur capacité à absorberun pourcentageélevé de l'énergie (coefficient d'absorption α élevé)et de réfléchirun minimumd'énergie (coefficient d'émissivité de chaleur ε faible).

Matière	Conductibilité (W/m.°C)	Masse volumique (kg/m3)	Coefficient de dilatation (mm pour 1 m et 100°C)
Aluminium	230	2700	2,38
Cuivre	380	8930	1,65
Zinc	112	7130	2,90
Acier	52	7900	1,15
Inox	52	7900	1,15
Plastiques	0,2 à 0,4	1000 à 1500	7 à 20

Tableau II.6.1.1 : Caractéristiques de certains absorbeurs

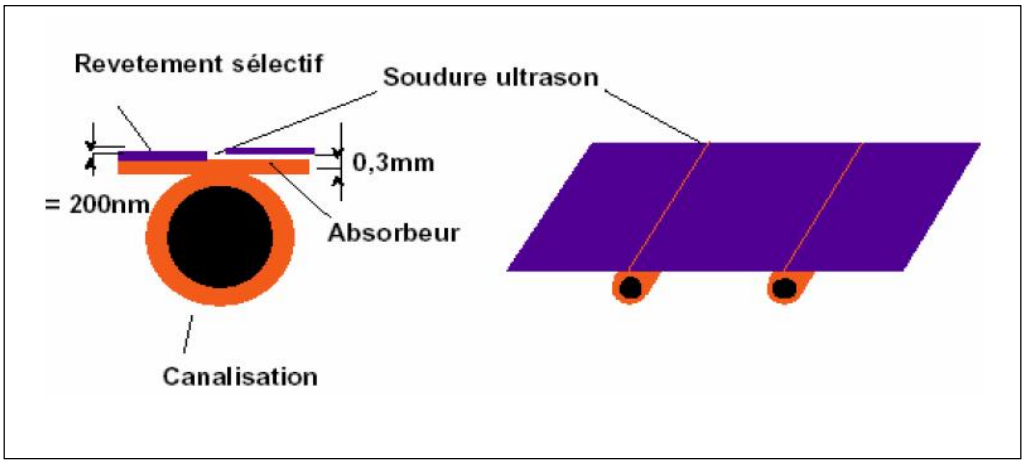


Figure I.6.1.1.1: Absorbeur et revêtement sélectif

Ces caractéristiques sont obtenues par le dépôt à l'aide de traitements électrolytiques appropriés d'une ou plusieurs couches absorbantes sélectives sur la face supérieure de l'absorbeur. Par rapport aux simples peintures noires laquées, ces couches présentent une structure moléculaire particulière qui optimise la captation du rayonnement solaire tout en

minimisant la réémission dans le champ des longueurs d'onde du rayonnement thermique, ce qui diminue les déperditions thermiques de chaleur (rayonnement IR).

La couche sélective des absorbeurs est essentiellement composée d'oxyde de chrome ou de nickel noir.

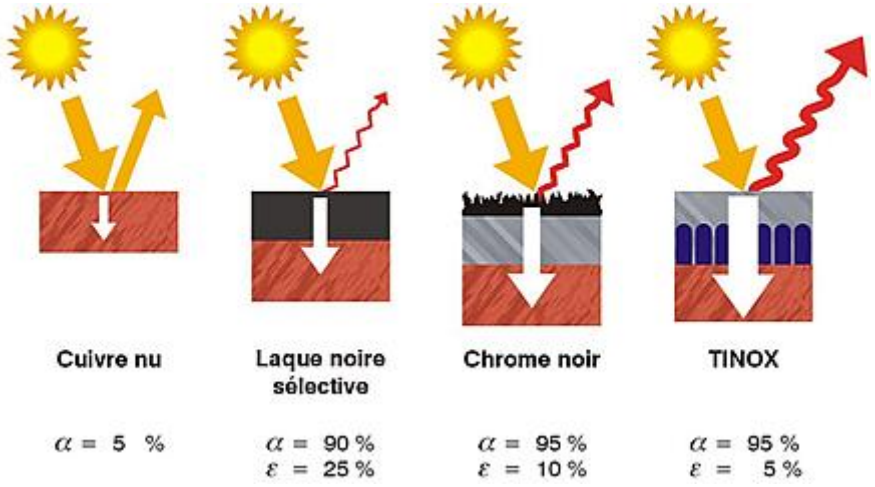


Figure I.6.1.1.2:Absorption α et émission ε du rayonnement de divers types de revêtements

Ces dernières années, de nouveauxrevêtements sélectifs sont apparus sur le marché. Leur rendement est plus élevé que celui des oxydes de chrome et de nickel tant à haute température que pour un rayonnement solaire réduit. Leurs procédés de production nécessitent, par ailleurs, moins d'énergie et sont moins polluants.

- **Le vitrage:**

Les capteurs vitrés de bonnes qualités utilisent tous le verre. Les polycarbonates ou autres matériaux de synthèse, même s'ils sont moins chers, n'ont pas des qualités de résistance mécanique et de stabilitédans le temps suffisantes (certains jaunissent dans le temps sous l'action des UV, et peuvent devenir fragiles). Le verre reste donc le matériau de prédilection pour la couverture des capteurs. Il peut cependant subir des transformations afin d'améliorer ses qualités.

Le verre trempéa une très bonne résistance aux chocs.

Dans sa face supérieure, le capteur est fermé par une couverture transparente faite en général en verre (le vitrage) de 3 à 4 mm d'épaisseur. L'espace entre la couverture et l'absorbeur doit

permettre l'établissement d'un effet de serre permettant au capteur d'atteindre de plus grandes températures.

La couverture transparente doit assurer les fonctions suivantes :

- Transmettre un maximum de rayonnement solaire tout au long de la durée de vie des capteurs (composition stable dans le temps) et minimiser la fraction de rayonnement réfléchi

- Former écran au refroidissement dû au vent et à la convection interne,faire écran à l'humidité, et résister aux sollicitations mécaniques et aux températures élevées

Le verreà faible teneur enfer a unetransmissionrelativement élevépour le rayonnementsolaire(environ 0,85-0,90à incidence normale), mais sa transmissionest très faible pourle rayonnement thermiquedegrandes longueurs d'onde(IR) émis par les surfaces chauffées par le soleil (effet de serre du verre).

Les verres de couverture utilisés actuellement présentent de plus en plus un traitement de surface visant à :

- Minimiser les réflexions du rayonnement solaire sur la face extérieure
- Favoriser la réflexion du rayonnement thermique sur la face intérieure (face d'aspect brillant).

Les revêtements antireflets et la texture de surface peuvent aussi améliorer de manière significative la transmission du verre. Le verre prismé évite qu'une trop grosse partie du rayonnement soit réfléchi quand l'angle d'incidence est faible. Par rapport au verre solaire standard, un verre antireflet permet d'augmenter le taux de transmission d'énergie solaire de 5%.

L'effet de la saleté et la poussière sur les vitrages de collecteur peut être très petite, et le nettoyage par les pluies occasionnelles est généralement suffisant à maintenir le facteur de transmission à l'intérieur de 2 à 4 % de sa valeur maximale.

Un traitement antireflet diminue la part perdue par réflexion. On peut aussi ajouter de couches d'oxydes métalliques réfléchissantes sur la surface inférieure, afin de créer des verres sélectifs qui retiennent d'autant mieux les infrarouges (effet de serre).

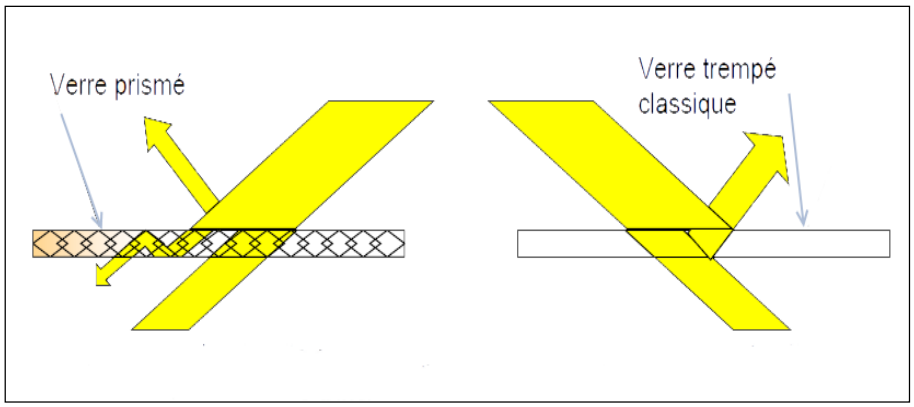


Figure I.6.1.1.3: Transmission du rayonnement verre prismé et verre trempé

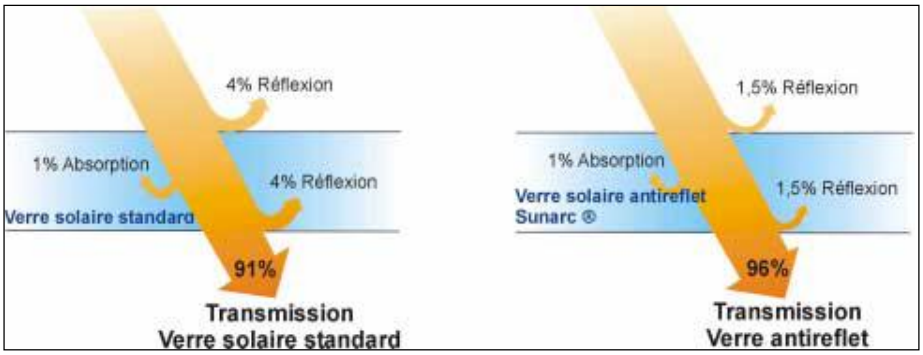


Figure I.6.1.1.4: Transmission du rayonnement par verre standard et verre antireflet

- **L'isolation thermique**

Afin de limiter les déperditions thermiques de l'absorbeur vers l'extérieur, la face inférieure et les quatre faces latérales des capteurs solaires sont isolées. Les isolants minéraux comme la laine de verre et laine de roche qui ont une conductivité très faible, sont les plus utilisées Des plaques de mousse polyuréthane sont également utilisées. Ces dernières qui présentent un risque d'inflammation doivent être protégées des températures supérieures à 60°C, et sont généralement séparés des absorbeurs par une couche d'isolant minéral (isolation en deux couches).

Les épaisseurs des isolants utilisés sont de l'ordre de 50 à 70 mm en face inférieure, et de 20 à 30 mm pour les faces latérales.

Il faut que les produits utilisés résistent aux températures de fonctionnement qui dépassent largement les 100°C pour les capteurs modernes, dans certains cas (capteur en stagnation).

Les isolants tels que le polystyrène sont donc àexclure (il commence àmollir et àfondre àpartir de 80°C).

Dans le cas d'utilisation de laines minérales, il convient de veiller àse qu'elles restent sèches, car l'humiditéaltère les performances thermiques de ces matériaux.

b) Les capteurs tubulaires sous vide

Les capteurs tubulaires sous vide fonctionnent de manière similaire aux capteurs plans standards. Comme eux, ils recueillent à la fois le rayonnement direct et diffus. Dans ces capteurs, chaque ailette de l'absorbeur est logée dans un tube cylindrique transparent, dans lequel on réalise un vide poussé d'environ 10^{-3}bars.

L'emploi de capteur a tubes sous vide garantit en outre une isolation thermique d'une remarquable efficacité. Ainsi, on ne relève pratiquement aucune perte entre les tubes de verre et l'absorbeur – en conséquence, ce capteur est en mesure de convertir un rayonnement solaire même faible en chaleur utile. En particulier à la mi-saison et pendant les mois d'hiver, lorsque les températures extérieures sont basses, les capteurs à tubes sous vide utilisent le rayonnement solaire à disposition de façon particulièrement efficace.

Un capteur solaire thermique sous vide est composé :

- d'une série de tubes de verre sous vide,
- d'un absorbeur fixé à l'intérieur des tubes de verre,
- d'un tube en cuivre à l'intérieur des tubes de verre.

Les tubes en cuivre sont parcourus par le fluide caloporteur (eau + antigel). La figure illustre les différents composants d'un capteur sous vide.

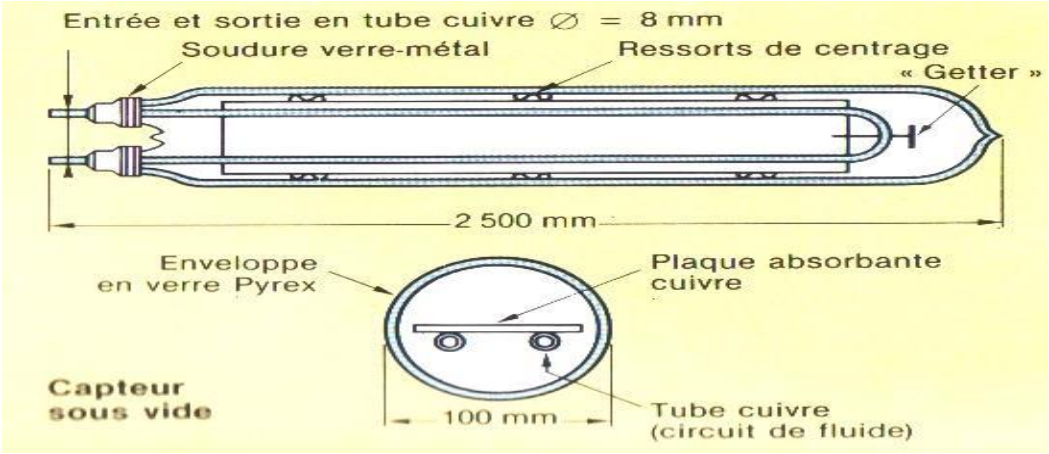


Figure I.6.1.1.5 : Composants d'un capteur tubuleur sous vide

Grâce aux propriétés isolantes du vide, les déperditions de chaleur par convection sont fortement réduites de sorte que lescollecteurspeuventfonctionner à des températuresplus élevées (de 85 à 100°C).Ces modèles de capteurs sont particulièrement bien adaptés aux applications industrielles utilisant de l'eau très chaude ou de la vapeur, par exemple, dans les processus de lavage, de séchage ou dans le refroidissement solaire.

Un tube devient inutile s'il n'est pas totalement hermétique et il faut le changer pour préserver la performance de l'ensemble du capteur. Afin de visualiser cette éventualité, les tubes sont munis d'un témoin (getter) qui est une couche métallisée de baryum déposée sur l'intérieur du tube. Cette couche de baryum devient blanche au contact avec l'air et sert ainsi de témoin lors de la perte de vide.[12]

a)

b)

Figure I.6.1.1.7 : Capteur à vide (a) et témoin pour contrôle du vide dans le collecteur (b)

A surface d'absorbeur égale, le rendement de capteurs sous-vide est meilleur que celui d'un capteur plan, surtout à des températures élevées (>60°C).

I.6.1.2 Les capteurs solaires à concentration

Un capteur à concentration est un capteur solaire comportant un système optique (réflecteur, lentilles, ...) destiné à concentrer sur l'absorbeur le rayonnement ayant traversé l'ouverture. Au lieu de frapper directement la surface absorbante, les rayons solaires arrivent sur les miroirs qui les réfléchissent sur la surface absorbante. Cette dernière convertit le rayonnement en chaleur. La chaleur est ensuite transmise au fluide caloporteur qui circule à l'intérieur de tubes en cuivre.

L'intérêt de ce procédé est de réduire grandement la taille de l'absorbeur, ce qui réduit les pertes de chaleur et augmente son efficacité. Des températures bien supérieures à celles réalisables par les collecteurs plans vitrés peuvent être ainsi atteintes, d'où l'utilisation de ce type de capteurs pour des applications à haute.

Ils sont coûteux et nécessitent parfois un mécanisme de mouvement asservi à un système de poursuite du soleil. A l'inverse des capteurs plans vitrés qui peuvent absorber les rayonnements solaire direct et diffus, les capteurs à forte concentration ne peuvent utiliser que le rayonnementdirect.

Un capteur solaire thermique à concentration est composé :

- d'un châssis,
- d'un isolant permettant de limiter les fuites thermiques en sous face et sur les bords,
- d'un système de réflexion de la lumière,
- d'un absorbeur,
- d'un réseau de tubes en cuivre.

Les tubes en cuivre sont parcourus par un fluide caloporteur (eau + antigel). Cette eau se réchauffe au fil de l'écoulement dans les tubes.

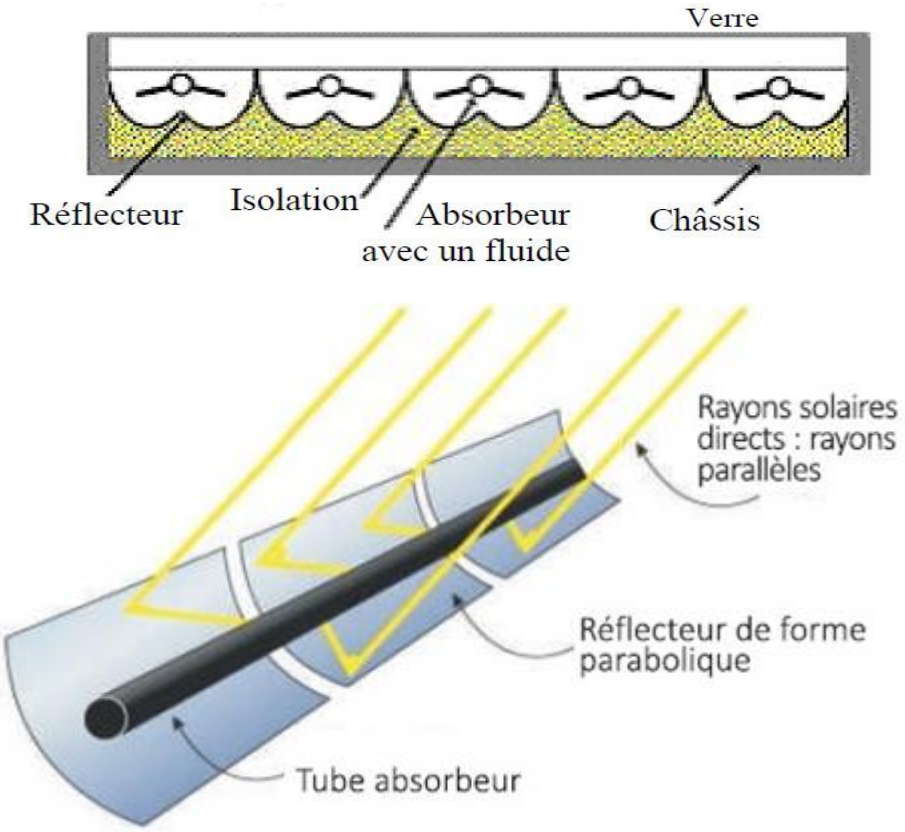


Figure I.6.1.2: Composants d'un capteur à concentration

I.6.1.3 Inclinaison des capteurs (CSP)

Le choix de la bonne inclinaison des capteurs est un facteur important déterminant le rendement moyen d'une installation solaire.

L'idéal serait de disposer les capteurs en permanence perpendiculairement au RS afin d'éliminer les réflexions au niveau de la couverture transparente.

Dans la pratique, et suivant les usages souhaités de l'énergie solaire, on adoptera les règles suivantes :

Utilisation	*Annuelle*	*Estivale*	*Hivernale*
Inclinaison *i*	Latitude ± 5°	< Latitude – 5°	> Latitude + 5°

Tableau I.6.1.3 : inclinaison des capteurs solaires

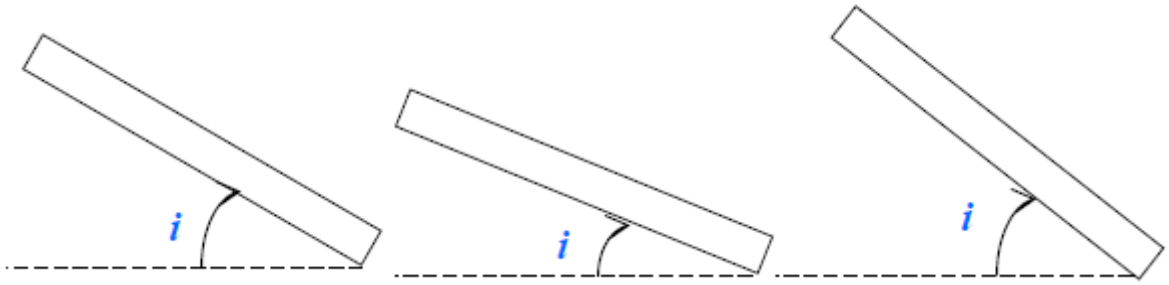


Figure I.6.1.3: Inclinaison préconisée des capteurs solaires

I.6.2 Le stockage

Le stockage ou ballon solaire permet de faire le lien entre l'intermittence de la ressource et le déphasage entre cette ressource et les besoins en ECS.Le stockage de l'énergie permet de pallier le caractère discontinu de l'énergie solaire, l'accumulation de l'énergie dans le stockage se traduit par une élévation de sa température

Un stockage correct doit fournir à l'entrée des capteurs un fluide à une température la plus basse possible. En effet, plus la température de retour de stockage est basse, plus l'efficacité du rendement du capteur augmente.

Outre l'isolation du ballon, la stratification thermique au sein du dispositif de stockage, influence la performance globale d'une installation solaire. Une bonne gestion du ballon se doit de privilégier un volume d'eau chaude en partie supérieure du ballon pour limiter la mise en fonctionnement de l'appoint et un volume d'eau froide en bas du ballon pour optimiser le rendement des capteurs.[5]

Une bonne isolation permet de limiter les pertes du stockage mais aussi d'éviter la création de courant de convection au sein du ballon, limitant ainsi la destratification du stockage.

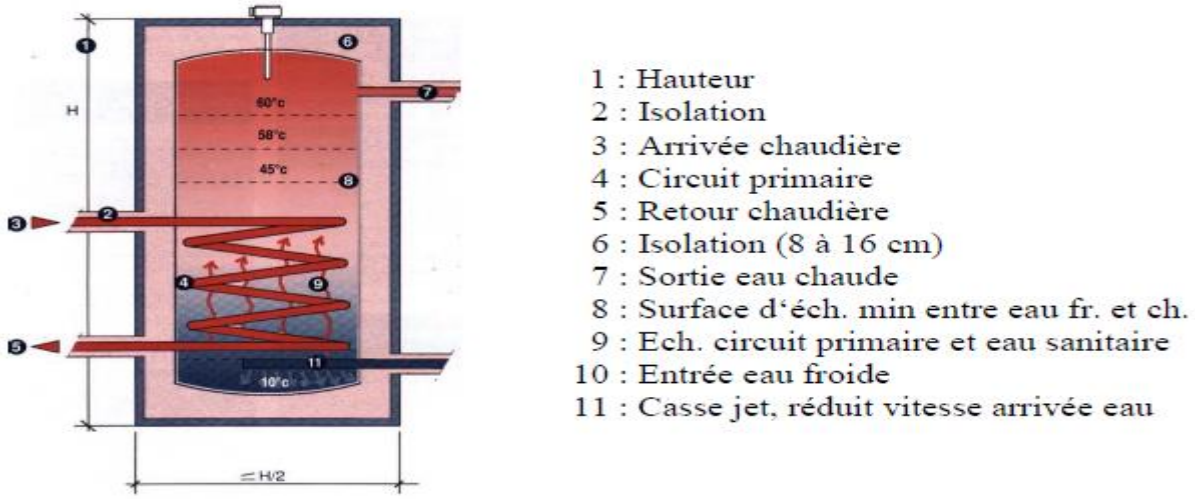


Figure I.6.2: Stratification dans le boiler

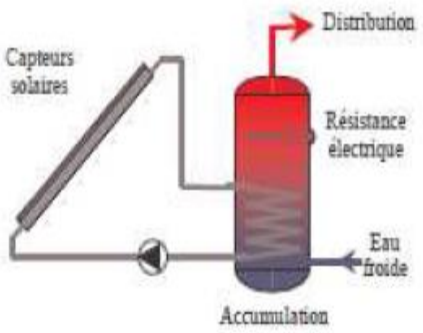
I.6.3 Le système d'appoint

La répartition annuelle de l'ensoleillement ne permet pas d'avoir une couverture totale des besoins énergétiques liés à la production d'ECS au moyen de l'énergie solaire seule. Surtout, dans le cas des CES collectifs où souvent, les besoins ne sont couverts qu'à des taux de 50% ou moins. D'où la nécessité d'avoir une installation de production de chaleur classique pour fournir l'appoint de chaleur. Il peut s'agir :

- D'une résistance (appoint électrique), placée en partie supérieure du ballon solaire
- D'un serpentin (appoint hydraulique) raccordé à un chauffe eau à gaz ou à une chaudière située en aval du ballon solaire.

Un second ballon pourvu d'un réchauffeur électrique peut également servir d'appoint

Si deux ballons sont installés en série (un ballon de préchauffage solaire suivi d'un ballon d'appoint), l'appoint doit chauffer tout le ballon aval. L'élément de chauffe (échangeur d'appoint ou résistance électrique) peut dans ce cas être placé en partie basse du ballon d'appoint



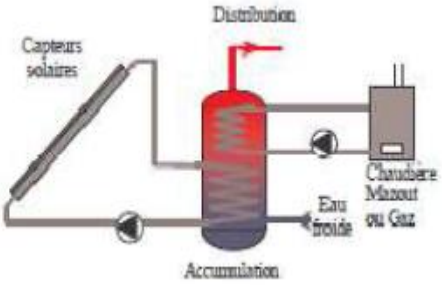


Figure I.6.3.1: L'appoint électriqueFigure.6.3.2 : L'appoint chaudière au gaz ou au mazout

I.6.4 la régulation électronique et le monitoring

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

I.6.4.1 Régulation des pompes dans le cas d'un échangeur intégré au stockage

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 solaires, 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.

Cette régulation doit intégrer un différentiel à l'enclenchement ($\Delta T1$) et à l'arrêt ($\Delta T2$), basé sur le principe de l'hystérésis.

La commande du circulateur dépend alors de deux valeurs ajustables du différentiel :

$\Delta T1$ = valeur ajustable du différentiel d'enclenchement du circulateur

$\Delta T2$ = valeur ajustable du différentiel d'arrêt du circulateur

Avec $\Delta T2 < \Delta T1$.

La pompe est enclenchée lorsque $Tc > Tb + \Delta T1$ (Figure N° 9). Ce qui permet à la circulation du fluide caloporteur de s'établir dans les capteurs. Par contre lorsque $Tc < Tb + \Delta T2$, la pompe s'arrête et la circulation du fluide caloporteur est interrompue.

Pour assurer de bonnes conditions de fonctionnement des installations, on adopte en général les valeurs suivantes : ΔT_1 est compris entre 5 à 10°C et ΔT_2 entre 2 à 5° C.

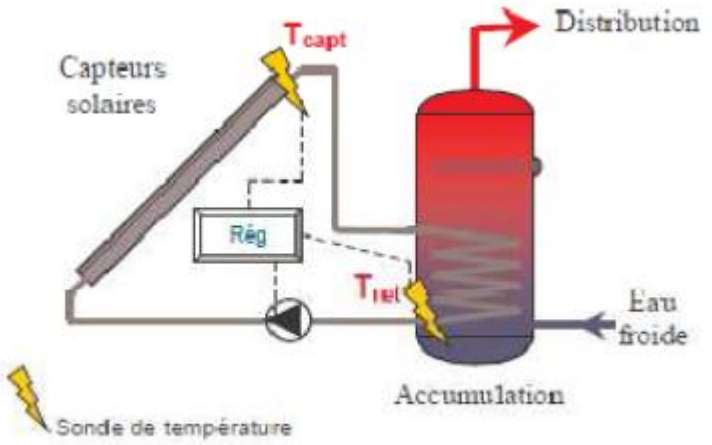


Figure I.6.4.1 : Schéma d'un dispositif avec régulation différentielle

I.6.4.2Régulation des pompes dans le cas d'un échangeur externe

Ce schéma permet un démarrage en deux étapes. Une première étape où la boucleprimaire est mise en circulation avec homogénéisation des températures dans les capteurs solaires et dans les canalisations, et une seconde étape où le circuitsecondaire est mis en service avec transfert d'énergie de la boucle primaire à la boucle secondaire. On a deux possibilités:

a) Incorporation d'une sonde de température dans le circuit primaire

Une sonde supplémentaire (T1) est ajoutée sur le circuit primaire (Figure N°10 a). Le régulateur R1 commande le circulateur primaire, le régulateur R2 commande le circulateur du secondaire.

Fonctionnement de R1 : si Tc > Tb + ΔT1 (avec ΔT1 compris entre 5 et 8°C)

Pour éviter des séquences courtes d'arrêt et de démarrage, la commande du régulateur devra être temporisée de manière à laisser l'homogénéisation des températures s'opérer dans le circuit primaire.

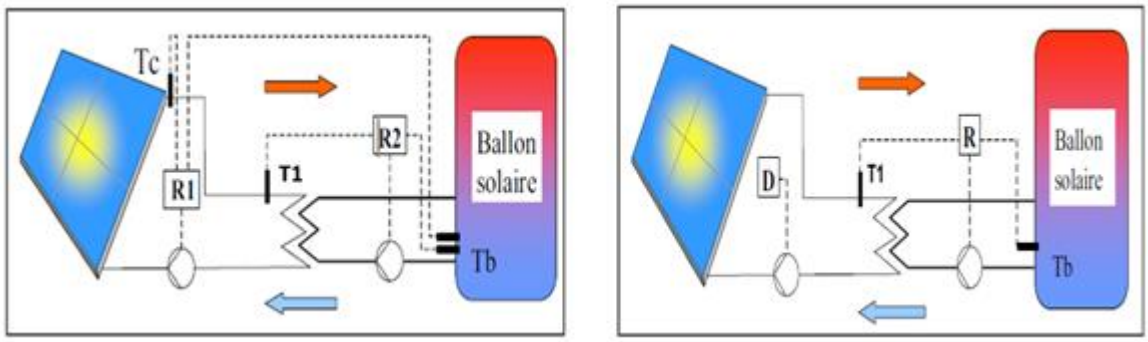
Fonctionnement de R2 : Séquence de démarrage : si T1 > Tb + ΔT1

Séquence d'arrêt : si Tc < Tb + ΔT2

Le régulateur R2 doit être asservi à celui de R1 de manière à ce que le circulateur secondaire ne soit jamais en fonctionnement si le circuit primaire est arrêté.

b) Incorporation d'une sonde crépusculaire dans le circuit primaire

Le but est le même que précédemment : démarrage en deux étapes. La sonde T1 remplace la sonde Tc. Elle est positionnée à l'entrée de l'échangeur à plaques, côté circuit primaire. Une sonde crépusculaire (D) mesure l'intensité du rayonnement solaire. Cette sondeest préconisée quand la surface de capteurs risque de ne pas être sous un rayonnement homogène.



a) b)

Figure I.6.4.2: Schéma d'une régulation différentielle (échangeur externe):

a) avec ajout sonde de température.

b) avec ajout sonde crépusculaire

Le circuit primaire est mis en circulation lorsque la valeur d'éclairement mesurée par le détecteur crépusculaire est supérieure à environ 100 W/m2. Il est stoppé lorsque cette valeur est inférieure.

La régulation du circuit secondaire (R) est identique au cas de la première possibilité. Pour toutes ces régulations des organigrammes de fonctionnement ont été établis.

I.6.4.3 Les thermomètres à l'aller et au retour des capteurs

Très simples et peu coûteux, ces deux thermomètres placés sur les conduites aller et retour entre le capteur et le réservoir de stockage permettent de vérifier le bon fonctionnement du système. En effet, une lecture rapide et aisée de la valeur des deux thermomètres permettra de vérifier le bon fonctionnement de l'installation.

Si Tcapt>Tret: fonctionnement normal de l'installation.

Si Tcapt<Tret: fonctionnement anormal de l'installation.

Si Tcapt ≫Tret: vitesse du circulateur mal réglée car différence entre

Tcaptet Tret trop importante.

Figure I.6.4.3: Les thermomètres

I.6.4.4 Le débitmètre manuel

Un simple débitmètre par gravimétrie dans la boucle solaire permet de connaître avec une précision de 10 % le débit (l/min). Certaines régulations permettent de donner l'énergie récupérée par la boucle solaire (Wh) grâce à l'introduction de manière manuelle dans la régulation du débit relevé. On obtient donc un ordre de grandeur de l'énergie récupérée par l'installation solaire. Deux modèles, dont le principe de fonctionnement varie peu, existent.

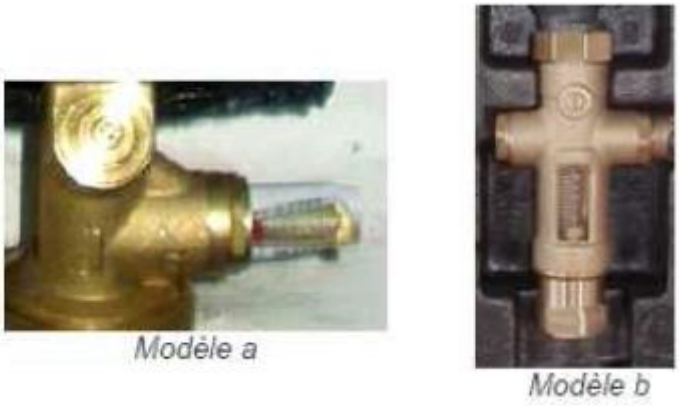


Figure I.6.4.4: Le débitmètre manuel

I.6.4.5 Le compteur d'énergie

Composé de deux sondes de température (une pour le chaud et une pour le froid) et d'un débitmètre volumétrique, le compteur d'énergie permet de donner instantanément la puissance débitée (W) et de comptabiliser l'énergie récupérée (Wh).

Cet appareil se place sur la boucle solaire afin de déterminer l'énergie récupérée grâce au système.

Figure I.6.4.5: Le compteur d'énergie

I.7 Chauffe Eau Solaire Individuel (CESI)

I.7.1 Définition

Installation permettant de chauffer l'eau d'une habitation grâce à l'énergie solaire.
Dans le cas d'un CESI (Chauffe-eau solaire individuel), le fluide caloporteur du panneau solaire transmet sa chaleur à l'eau sanitaire en passant dans un échangeur thermique. Alors qu'il a cédé sa chaleur, il repart vers les capteurs où il sera de nouveau réchauffé. L'eau chaude sanitaire est stockée dans un ballon auquel on peut adjoindre un dispositif complémentaire (résistance électrique ou deuxième échangeur thermique relié à une chaudière traditionnelle au gaz, au fioul ou au bois) permettant de pallier à un défaut d'ensoleillement.

I.7.2 Les composants d'un chauffe eau solaire individuel[13]

Le CESI a deux composantes principales :

· Le capteur, qui transforme la lumière en chaleur,

· Le ballon de stockage qui accumule l'énergie pour un usage ultérieur.

Dans les pays chauds, le ballon est directement au contact des capteurs sur le toit (on parlede thermosiphon).

A Bruxelles, on place le ballon dans la maison afin de le protéger du froid, ce qui nécessited'ajouter un circuit de conduite de la chaleur entre les capteurs et le ballon. Une pompe y estincorporée afin de faire circuler le fluide caloporteur qui s'y trouve.

Le circuit de conduite reliant les capteurs et le ballon de stockage est appelé circuit primaire.

La pompe est appelée le circulateur.Celui-ci fonctionne à l'aide d'électricité et possède donc une consommation d'énergie à minimiser.

Dans un CESI, deux régulations sont nécessaires au bon fonctionnement :

- La régulation du système solaire,
- La régulation de l'appoint.

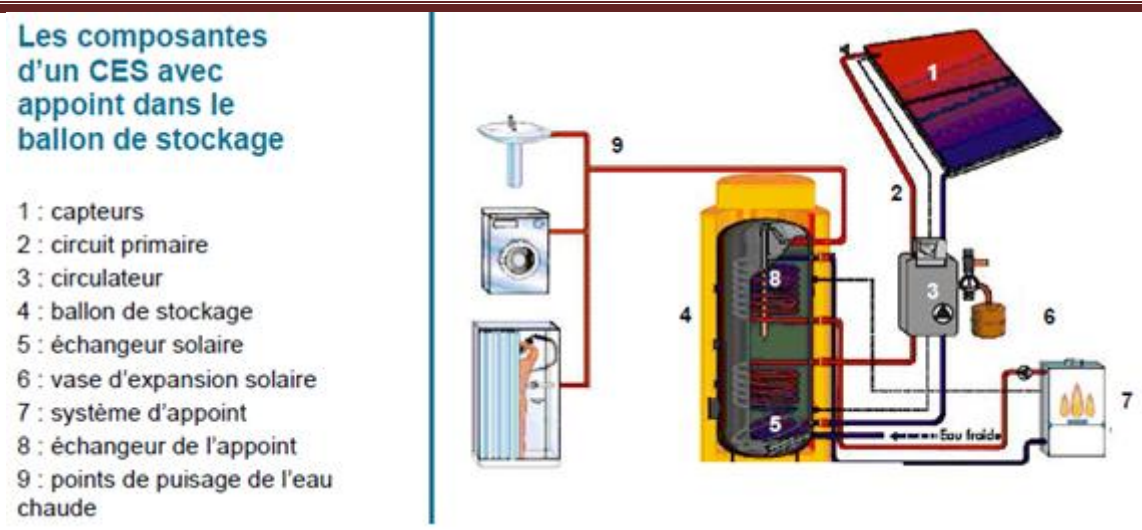


Figure I.7.2.3 :composants des chauffe eau solaires

I.7.3Fonctionnement d'un chauffe-eau solaire individuel et aspects techniques

L'installation d'un chauffe-eau solaire individuel à votre domicile permet d'utiliser l'énergie du soleil pour couvrir une partie de vos besoins en eau chaude. Le mode fonctionnement innovant du chauffe-eau solaire individuel permet également de diminuer votre consommation d'électricité, de gaz, de bois ou de fioul. Il vous sera donc possible de réaliser des économies d'énergie importantes tout au long de l'année.

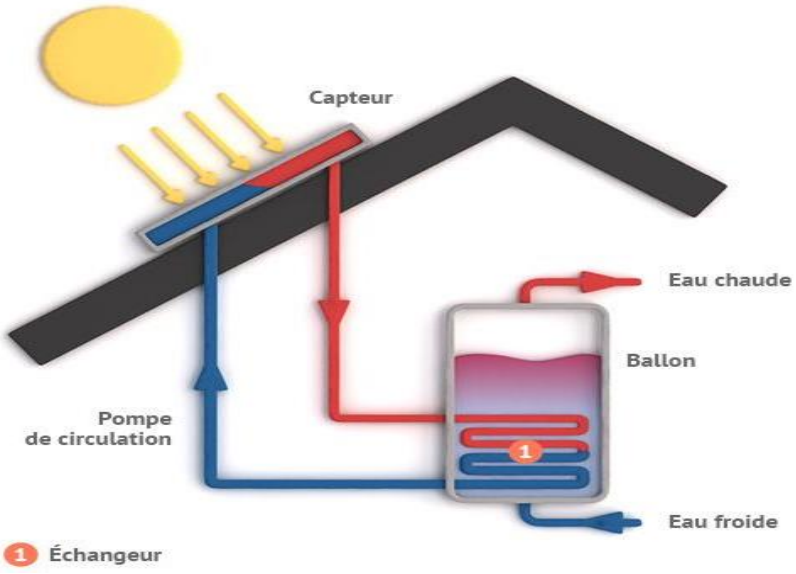


Figure I.7.3 installation de chauffe eau solaire individuel

La circulation du fluide caloporteur peut se faire de façon naturelle ou forcée :

- En circulation naturelle, le fluide caloporteur est conduit en chauffant, grâce au phénomène de la "thermocirculation". En effet, un liquide chaud s'élève naturellement car sa densité est plus faible que celle d'un liquide froid. Dans ce cas de figure, le ballon de stockage doit impérativement être installé au-dessus des capteurs thermiques, ce qui n'est pas toujours techniquement réalisable, ni forcément très esthétique.
- À l'inverse, en circulation forcée, le fluide caloporteur est mis en mouvement par une pompe électrique et un dispositif de régulation. La circulation forcée est le système le plus utilisé en France, puisqu'il s'adapte à toutes les configurations d'habitation.

Le fonctionnement d'un chauffe-eau solaireindividuel, couplage de capteurs solaires thermiques et d'un ballon d'eau chaude, est simple. Il s'agit d'un équipement capable de transformer l'énergie solaire en énergie thermique, à l'aide de capteurs installés sur votre toiture ou au sol dans votre jardin. Ils sont constitués d'une vitre qui produit un effet de serre dans le capteur. Composés de tubes en cuivre en contact avec un absorbeur, ces capteurs thermiques contiennent un liquide "caloporteur" (à base d'air ou d'eau et d'antigel). Ce dernier s'échauffe rapidement avec le rayonnement solaire. Il est alors transporté à travers des canalisations calorifugées vers le ballon de stockage de votre domicile, où il va transférer sa chaleur à l'eau sanitaire via un échangeur thermique. Une fois refroidi, le fluide caloporteur est reconduit vers les capteurs thermiques pour commencer un nouveau cycle de chauffe. Le stockage étant assuré dans le ballon d'eau chaude très bien isolé selon les modèles, de l'eau chaude sanitaire est encore disponible quand il n'y a plus de soleil.[13]

I.7.3 La nécessité d'un chauffage d'appoint

Un chauffe-eau solaire peut aisément couvrir jusqu'à 100 % des besoins en eau chaude de votre famille en été, et selon votre région. En revanche, durant l'hiver ou lors d'une longue période de mauvais temps, le rendement des capteurs thermiques va baisser. C'est pourquoi le chauffe-eau solaire individuel ne peut pas fonctionner seul. Il nécessite un dispositif de chauffage complémentaire pour prendre le relais lorsque les capteurs ne produisent pas ou trop peu de chaleur. Ce chauffe-eau d'appoint pourra être directement connecté au ballon solaire, ou relié à un second ballon de stockage équipé d'un réchauffeur. Si vous disposez déjà d'un système de chauffage chez vous, il ne faut donc pas le faire retirer lors de l'installation du chauffe-eau solaire, car il vous sera encore utile.[13]

I.8 Conclusion

Se brancher sur le soleil pour produire sa propre eau chaude gratuitement est très simple.

Pour que cet usage reste simple et efficace, nous avons créé ce document en espérant qu'ilvous sera utile, en tant qu'utilisateur, car un minimum de suivi est nécessaire.

Le respect des principes de ce guide, en terme de suivi et d'entretien de votre CES permettrad'en accroitre considérablement la durée de vie et l'efficacité de fonctionnement…

Au-delà des aspects techniques, le simple fait de prendre des « douches solaires » et de seréapproprier l'énergie procurent un énorme plaisir dès que le soleil apparaît.

Chapitre II Dimensionnement et simulation de l'installation de production d'eau chaude

II.1 Introduction

Le point de départ pour le dimensionnement d'une installation solaire de production d'eau chaude sanitaire est le besoin en eau chaude solaire. Il est donc primordial d'estimer correctement ces besoins.

Autres facteurs tel que la situation géographique, la surface disponible pour l'installation solaire, l'orientation et l'inclinaison des capteurs,… etc. Joueront également un rôle important.

Un bon dimensionnement doit produire un maximum d'énergie d'origine solaire entre 50 et 80% des besoins d'eau chaude sanitaire, entrainant une économie financière, et évitant le rejet de gaz a effet de serre dans l'atmosphère.

II.2 Le dimensionnement d'une installation étudiée

Un dimensionnement cohérent et performant d'un système de production solaire d'ECS consiste à atteindre un taux de couverture des besoins de 40 à 70 % et une productivité de 400 à 600 kWh/m^2.an

La méthodologie adoptée pour le dimensionnement de l'installation étudiée repose sur:

- Le recueil les données nécessaires.
- La définition des principes de fonctionnement de l'installation
- Le pré dimensionnement des composants principaux.
- la simulation et l'optimisation du dimensionnement des composants solaires

L'organigramme présenté en Figure II.2 Illustre les étapes principales du processus de dimensionnement que nous avons réalisé.

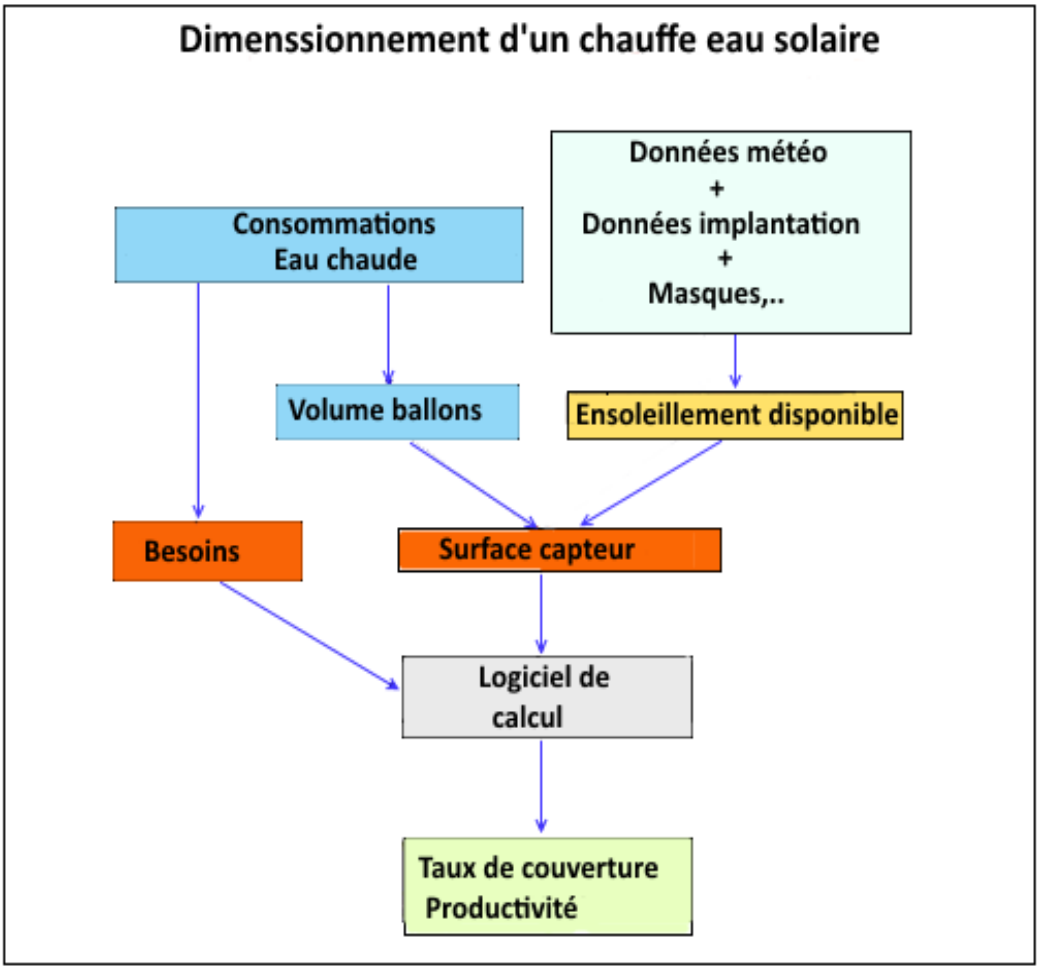


Figure II.2 : Schéma de l'organigramme de dimensionnement de l'installation

II.3 Dimensionnement des principaux composants de l'installation

Les principales données nécessaires au dimensionnement sont:

- **La consommation journalière d'ECS à la température de puisage:** Elle est soit estimée à partir d'enquête auprès des utilisateurs, soit mesurée sur une longue période. On tient compte du profil mensuel de consommation car en été l'eau chaude est moins utilisée.

Pour notre cas, la consommation est fixée à 200 L/jour.

- **Le volume des ballons solaires**: Le volume de stockage Vst (L/j.) doit suffire pour les besoins journaliers. Il est donné par la relation Vst = Vj +/- 50%.

Avec Vj = volume d'ECS moyen consommé par jour sur toute la période de fonctionnement,

- **La surface de capteurs**: Sur la base de la consommation journalière en eau chaude Vj, on calcule la surface du champ des capteurs A en tenant compte du ratio Vj / A = 50 L/m^2 .

- **L'inclinaison des capteurs**: Elle est, dans le cas d'une consommation régulière (sans interruption saisonnière), prise comme égale à la latitude du lieu qui est 36°7' N pour la ville d'Alger.
- **Le rayonnement solaire:** Les moyennes mensuelles du rayonnement solaire incident sont prises sur la base de données du CDER. Sur site le rayonnement solaire est également mesuré à l'aide d'un pyranomètre.
- **Type d'installation:** S'agissant d'une petite installation individuel, nous avons opté pour un système à thermosiphon sans échangeur et appoint électrique.

II.4 Simulation de l'installation [14]

La simulation permet d'avoir un dimensionnement précis des performances de l'installation. Des « entrées » cohérentes et basées sur des données techniques réelles (de terrain) sont indispensables à la réalisation de simulations pertinentes.

Le fonctionnement réel d'une installation inclut cependant des phénomènes aléatoires non simulables (coupure de courant, etc.)

Comme outil de calcul, nous avons utilisé le logiciel Solo 2000. Ce logiciel, développé par le Centre Français Scientifique et Technique du Bâtiment (CFSTB) est un outil de calcul simplifié. Le logiciel Solo prend en entrée uniquement les données mensuelles moyennes. Il présente l'avantage de pouvoir facilement évaluer les performances mensuelles moyennes d'énergie.

Les indicateurs de performances énergétiques calculés par le logiciel sont:

- Le taux de couverture solaire qui indique le pourcentage annuel d'énergie nécessaire à la production d'ECS pouvant être couvert par l'installation solaire. Il est donné par le rapport: Production solaire utile / Besoins en ECS
- La productivité (en énergie utile): C'est la production annuelle d'énergie solaire ramenée au m² de capteurs installés (kWh/m².an).

Les données utilisées pour la simulation de l'installation solaire sont illustrés dans les figures qui suivent et selon chaque composant de l'installation étudiée.

-On choisi tout d'abord la station étudiée, avec une latitude de 36°7 sur la willaya d'Alger-Algérie.

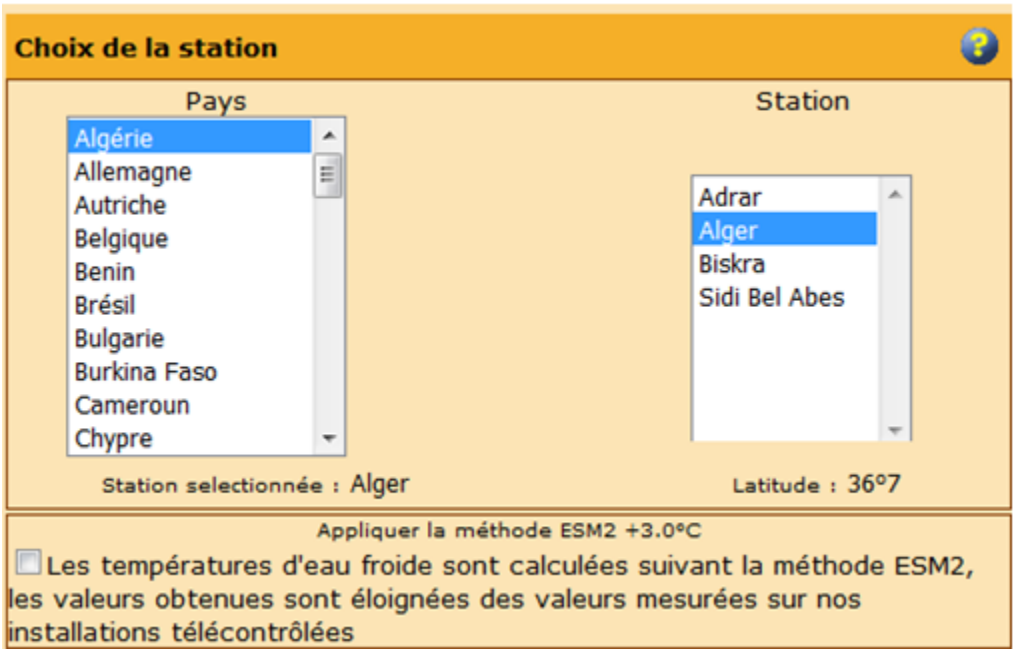


Figure II.4.1: choix de la station étudiée[14]

-Et pour la consommation on doit définir la consommation moyenne mensuelle, on la fixé à 200L/Jour puisque l'installation sert à produire de l'eau chaude pour une habitation de 4 personnes et dans la moyenne la personne consomme 50L/Jour.

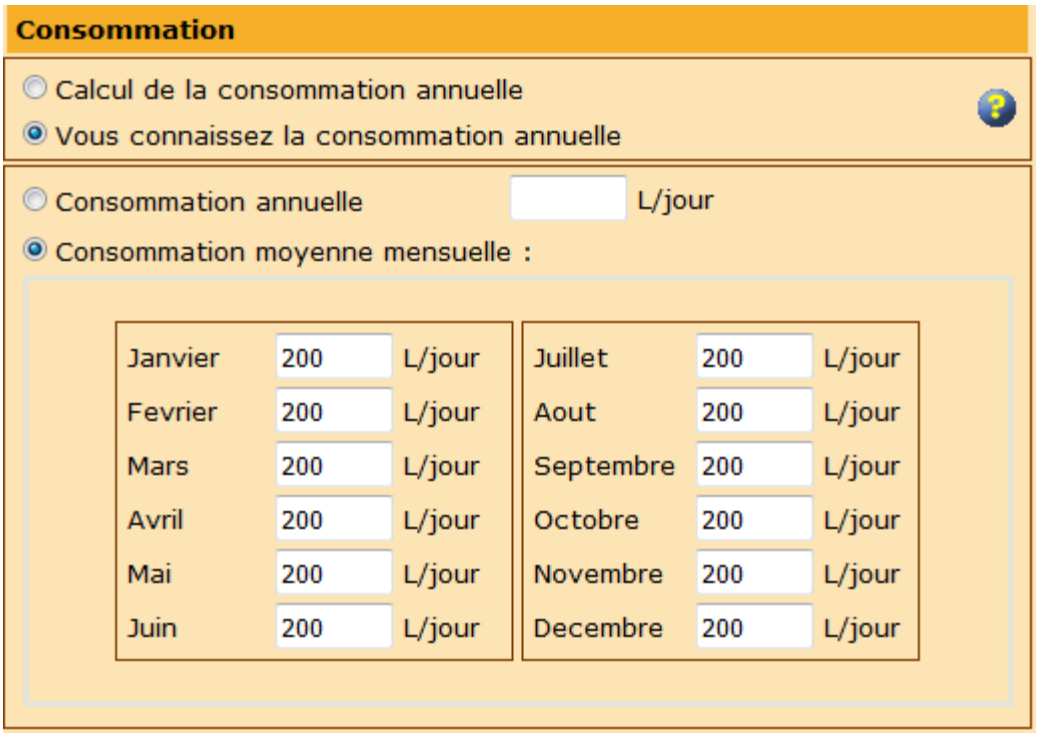


Figure II.4.2: la consommation moyenne mensuelle[14]

-Pour le stockage, notre installation contient un seule ballon de 300L localisé a l'extérieur du bâtiment avec une température d'eau bien définie « 60°C » et aussi on doit définir le type de l'installation étudiée, dans notre étude c'est un thermosiphon sans échangeur, ce type d'installation concerne les installations individuelles.

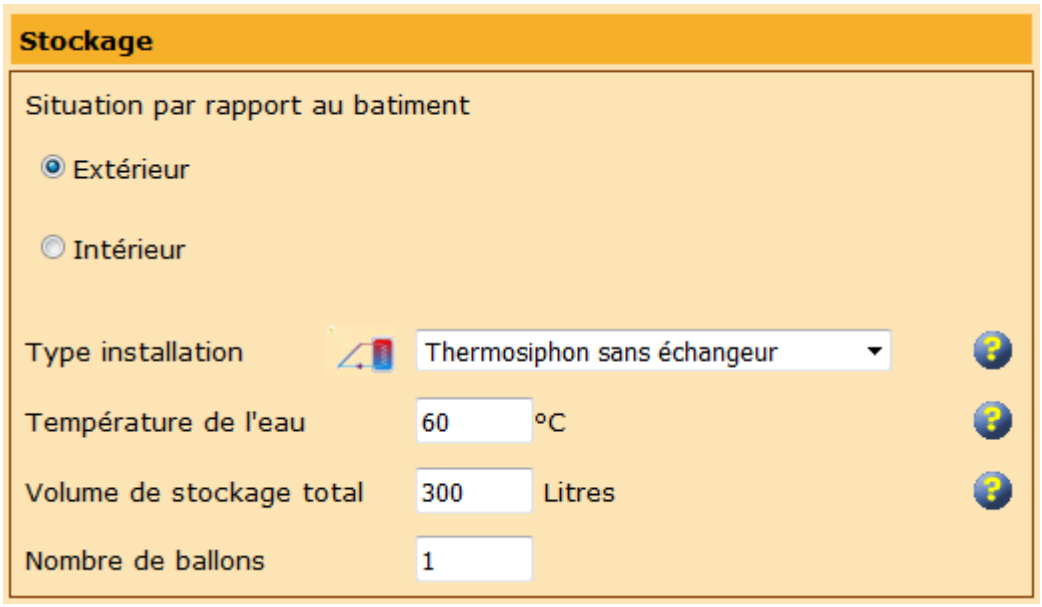


Figure II.4.3: le stockage de l'installation

-Ensuite, on doit fournir la constante de refroidissement qui est une valeur obtenue par un essai normalisé, elle indique les pertes caractéristiques du ballon, elle est fournie par le fabriquant mais on peut la calculer tout dépend du type de l'isolant.

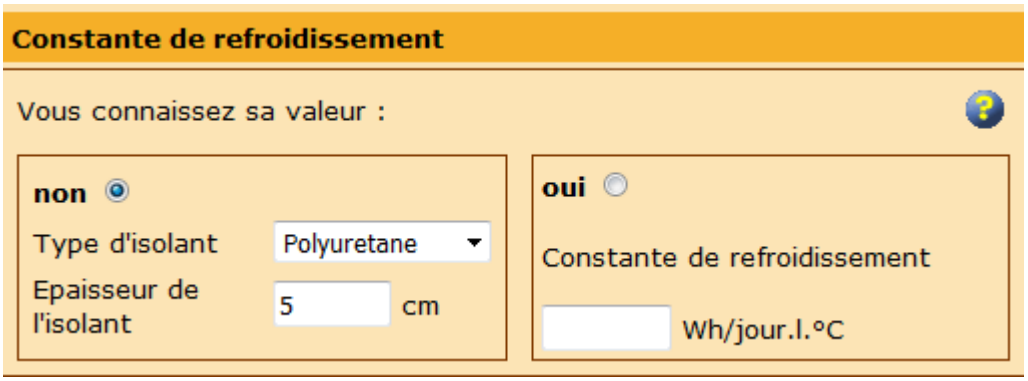


Figure II.4.4: la constante de refroidissement

-Le type du premier capteur

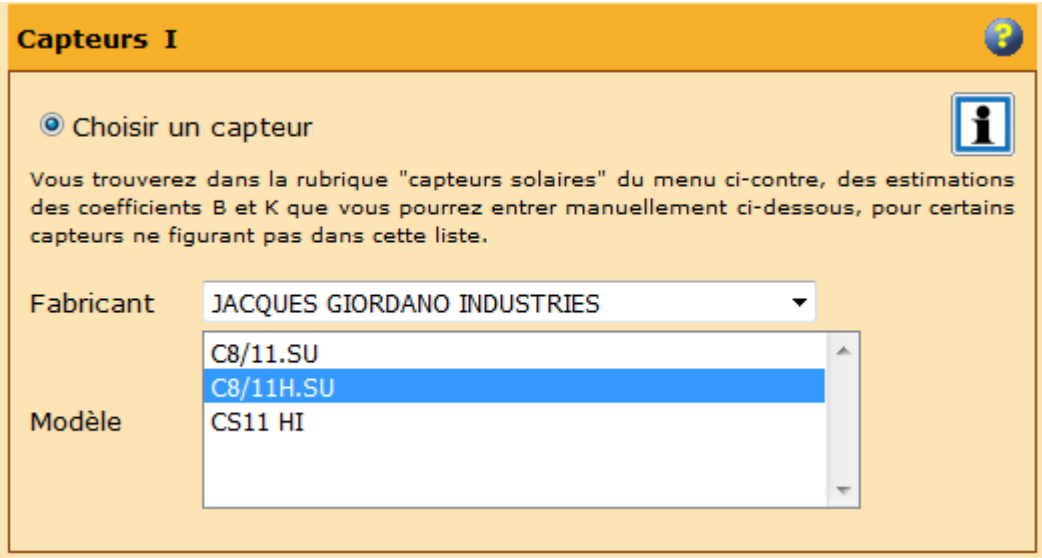


Figure II.4.5: type du capteur 1

-Et par la fin les caractéristiques techniques du deuxième capteur qui sont des capteurs sont le coefficient des gains B et le coefficient des pertes K.[14]

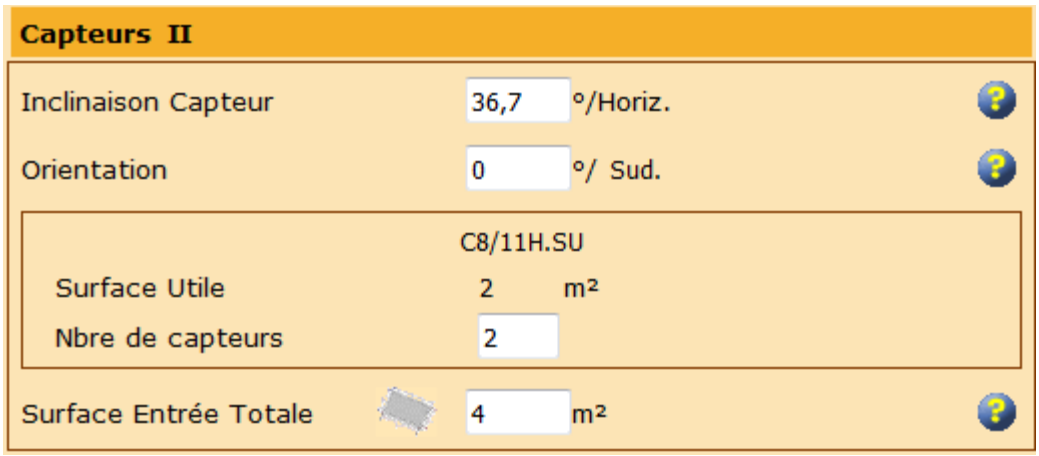


Figure II.4.6: caractéristiques techniques du capteur 2

II.5 Condition d'un bon dimensionnement

Une bonne connaissance des besoins en eau chaude sanitaire est indispensable car un surdimensionnement provoque la diminution du rendement de l'installation.

II.6 Résultats de dimensionnement [14]

Alger, Latitude: 36°7												20/05/2016

Données météo

Mois	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
T° extérieure	11	12	13	15	18	21	24	25	23	19	15	12
T° eau froide	14,16	14,66	15,16	16,16	17,66	19,16	20,66	21,16	20,16	18,16	16,16	14,66

T° eau froide : Méthode ESM2

Tableau II.6.1: données météo

-Pour l'installation :

Capteurs	
Surface	4 m2
C8/11H.SU JACQUES GIORDANO INDUSTRIES (2 x 2 m²)	
Inclinaison	36,7 °/Horiz
Orientation	0°/Sud
(°)Coefficient B	0,759
(°)Coefficient K	4,2W/m2.°C

Tableau II.6.2: caractéristiques des capteurs

Stockage	
Situation	Extérieur
Température ECS	60 °C
Volume de stockage	300 Litres
Cste de refroidissement	0,1807Wh/jour.l.°C
Type d'installation	Thermosiphon sans échangeur

Tableau II.6.3: caractéristiques du stockage (ballon)

	Irradiation capteurs (Wh/m2.jour)	Besoins (kWh/mois)	Apports (kWh/mois)	Apports (kWh/jour)	Taux (%)	Volume (litres)
Janvier	3032	330	109	3,5	33,0	200
Février	4241	295	136	4,9	46,2	200
Mars	5172	323	185	6,0	57,3	200
Avril	5515	306	196	6,5	64,0	200
Mai	6068	305	219	7,1	71,8	200
Juin	5917	285	210	7,0	73,8	200
Juillet	6123	284	222	7,2	78,2	200
Aout	6213	280	222	7,2	79,4	200
Septembre	5673	278	201	6,7	72,3	200
Octobre	4466	302	168	5,4	55,8	200
Novembre	3154	306	115	3,8	37,8	200
Décembre	2765	327	101	3,2	30,8	200

Tableau II.6.4: résultats mensuels

Taux couverture solaire	57,6	%	Apport solaire annuel	2085	kWh/an
Besoin annuel	3620	kWh/an	Productivité annuelle	521	kWh/m2.an

Tableau II.6.5 : résultats annules.

II.7 Interprétation des résultats de dimensionnement

L'évolution mensuelle de la température ambiante Figure et la température de l'eau froide est illustrée en figure. La température d'eau froide moyenne varie de 14,16 °C en janvier à 21,16 °C en août. La température ambiante est comprise entre 11°C à 25°C.

Les températures moyennes annuelles sont 17,33 °C et 17,32 °C respectivement pour l'air ambiant et l'eau froide.

Comme illustré en figure IRRADIANCE, les résultats de la simulation montrent que le rayonnement solaire incident s'élève à 2765 Wh/m^2.jour en hiver et atteint 6213 Wh / m^2.jour en été.

Le taux de couverture solaire correspondant présente un minimum de 30,8% en décembre et atteint un maximum de 79,4% pendant les mois d'été, juillet et août.

Le faible gain solaire enregistré pour le mois d'août est liée à la période des congés où la consommation en ECS est relativement réduite.

La simulation donne un taux de couverture solaire moyen de 58,36%. Le gain solaire s'élève à 2085 kWh / an pour un besoin annuel d'environ 3620 kWh. La productivité solaire qui en résulte est d'environ 521 kWh/m².an.

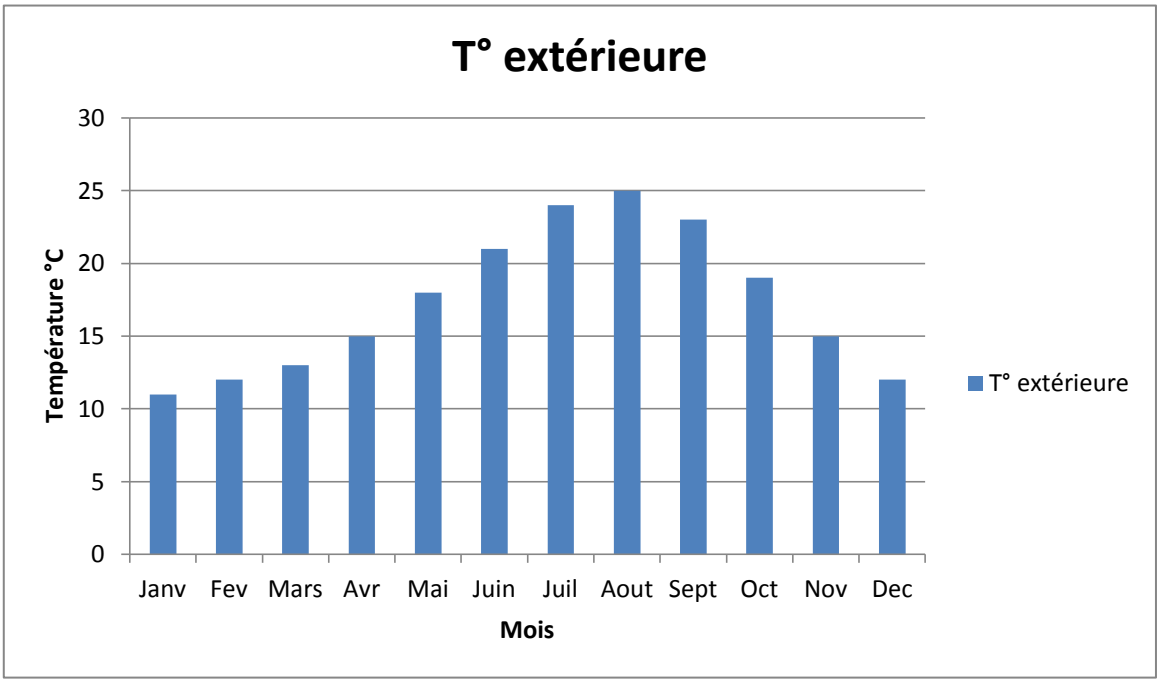


Figure II.7.1: L'évolution mensuelle de la température ambiante

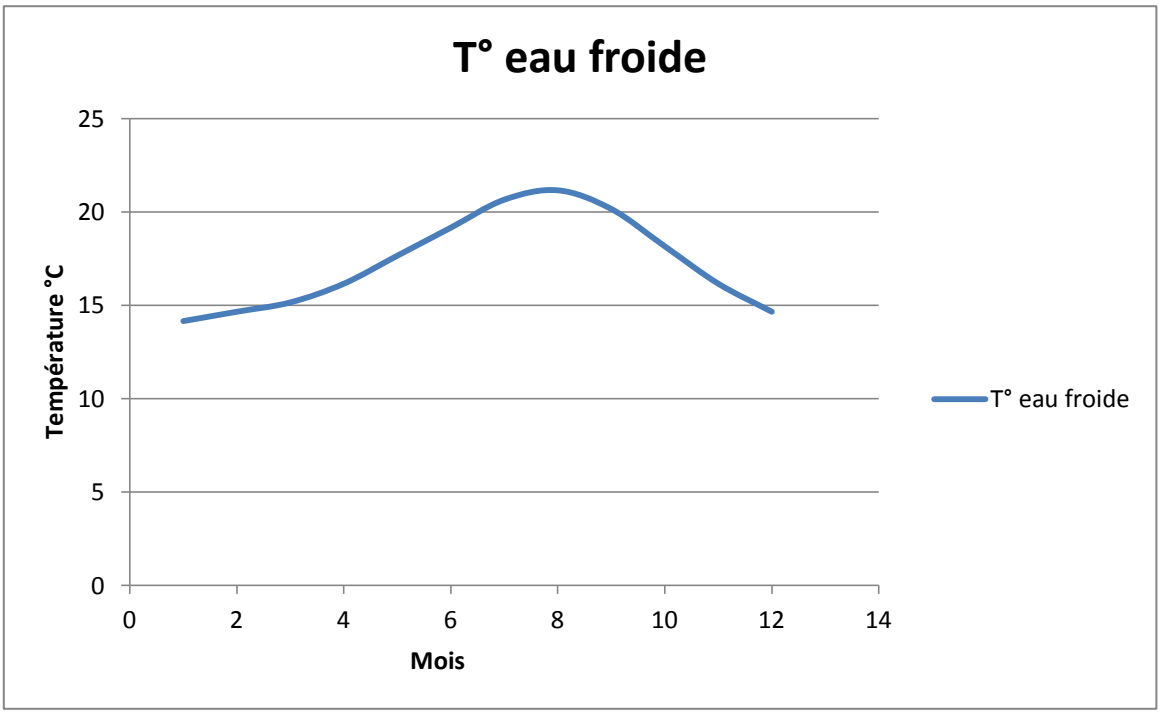


Figure II.7.2: l'évolution de la température d'eau froide

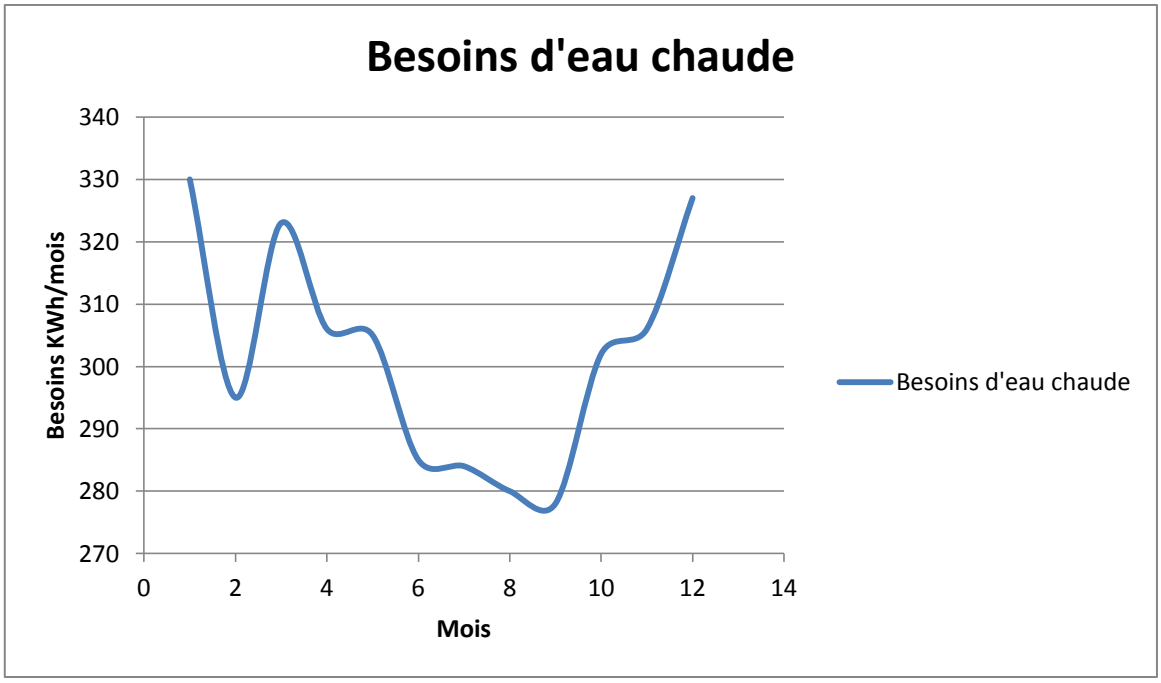


Figure II.7.3: besoins d'eau chaude sanitaire

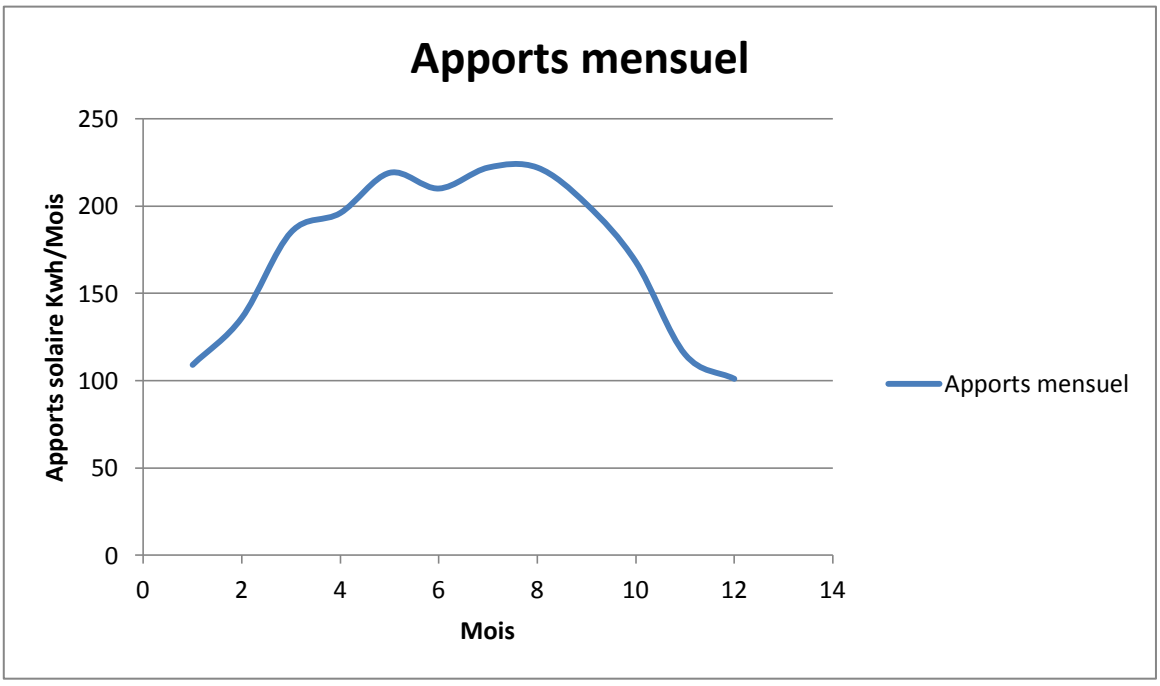


Figure II.7.4 : apport solaire mensuel

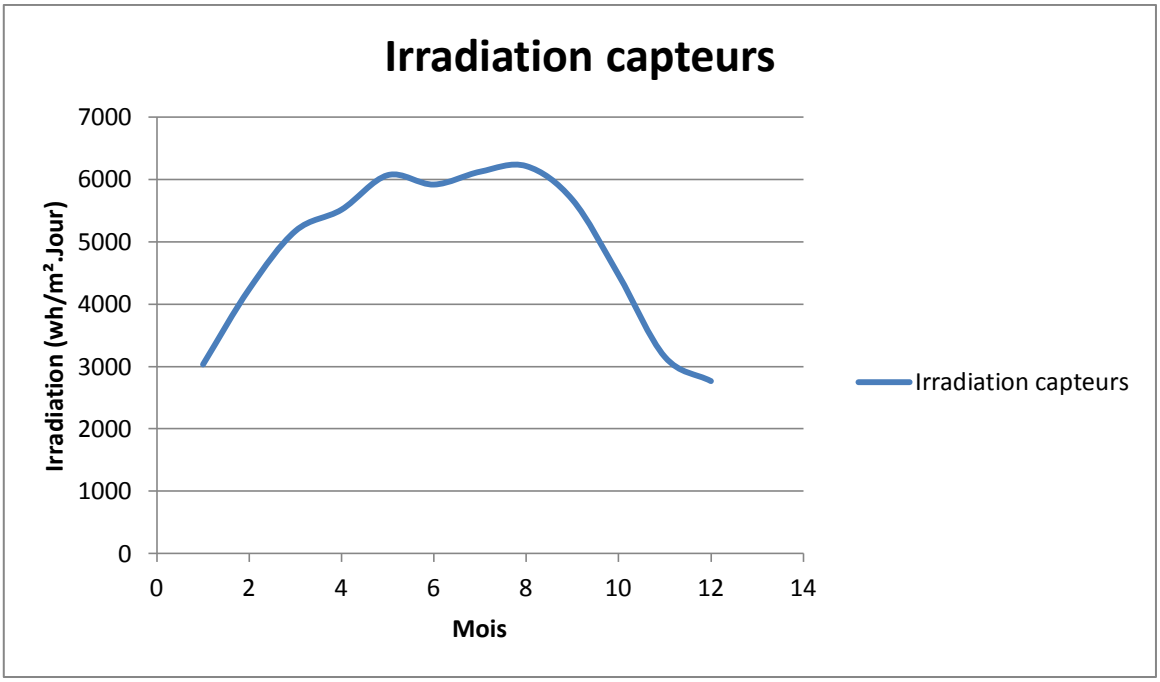


Figure II.7.5: Irradiation sur les capteurs

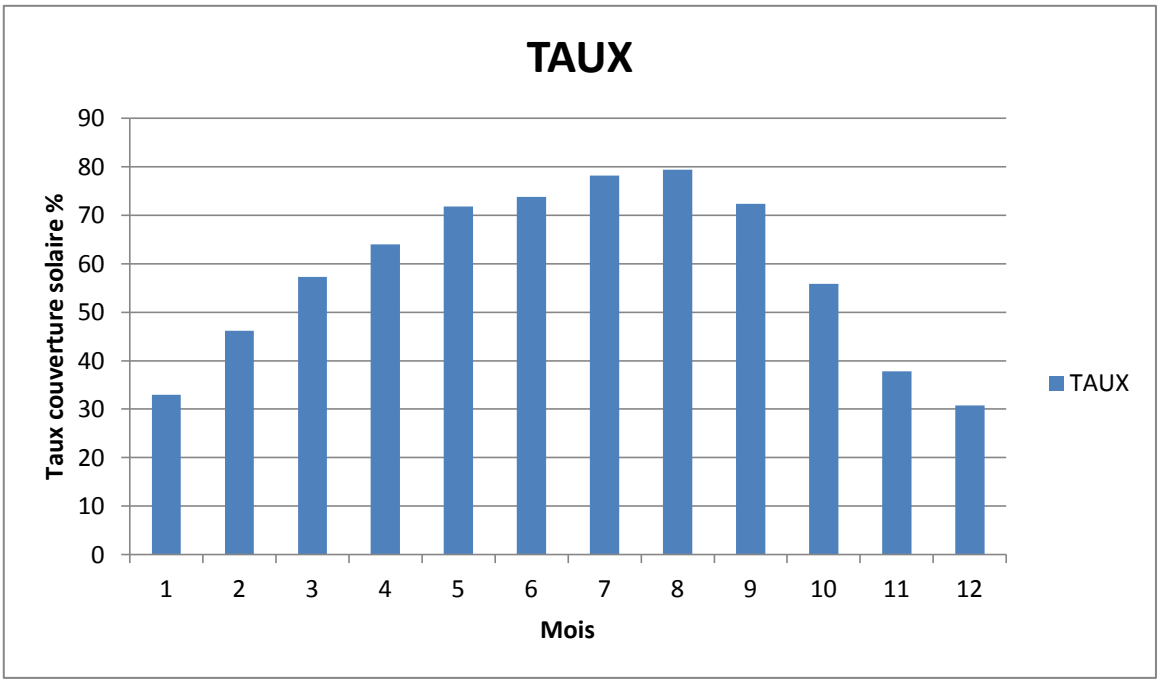


Figure II.7.6: Taux de couverture solaire

II.8 Conclusion

Dans l'ensemble, les résultats du dimensionnement sont très satisfaisants. On a choisi les paramètres qu'il faut pour un bon dimensionnement et nous obtenons, pour les conditions climatiques d'Alger, un taux de couverture solaire très élevé et une très bonne productivité annuelle. On admet en général que le système solaire est correctement dimensionné, et se justifie s'il arrive à satisfaire 40 à 70 %. Des besoins.

Avec une telle installation le fabricant peut théoriquement garantir les résultats solaires. Il faut cependant veiller à ce que, sur une période de fonctionnement de plusieurs années, les performances énergétiques calculées soient respectées dans la pratique.

Chapitre III Etude expérimentale

III.1 Introduction

Cette partie expérimentale a été réalisée sur le chauffe eau individuel et s'est déroulée au centre de développement des énergies renouvelables C .D.E.R située a BOUZAREAH (Alger).

Paramètres caractérisant le site de BOUZAREAH (nord) :

latitude	36.72° N
longitude	+3.12° E
altitude	345 m
Albédo du sol	0.2

Tableau III.1: paramètres du site Bouzareah Alger

Le travail qui nous a été attribué consiste à l'expérimentation d'une installation de production d'eau chaude individuelle pour le site de Bouzareah Alger.

III.2 Description du banc d'essai (Bouzareah)

L'installation comporte deux capteurs plans à circulation naturelle (thermosiphon) de 4 m² de surface et de 270L du volume de stockage qui peut satisfaire les besoins en eau chaude d'une famille de 4 a 6 personnes pour une consommation moyenne.

L'inclinaison des capteurs est de 36°7 selon la latitude du lieu pour une consommation sur toute l'année.[15]

III.2.1 Orientation : plein sud.

III.2.2 Emplacement

Pour le choix de l'emplacement du capteur, il est important de :

- Eviter les distances importantes entre le capteur et lieu d'utilisation de l'energie.les déperditions thermiques dues à la tuyauterie deviennent rapidement critique avec la distance et nécessitent alors une isolation parfaite et couteuse.
- Préférer les endroits abrités du vent.il est déjà arrivé que des vitres s'envolent ou que les capteurs eux-mêmes subissent des contraintes mécaniques dommageables .autre effet nocif du vent, il accroit les déperditions thermiques au niveau de la surface du vitrage et de la face arrière par ventilation.une situation au sol des capteurs est donc préférable à une position élevée en toiture.
- Limiter les effets de masque.

III.2.3 Orientation et inclinaison

Deux données doivent être précisées : l'orientation et l'inclinaison du capteur.

- **Orientation :** les capteurs sont orientés plein sud, car c'est dans cette position que l'énergie recueille durant toute la journée est maximale.
- **Inclinaison :** la position verticale des capteurs favorise la période hivernale, alors que la position horizontale conduit a de meilleurs rendements l'été. La solution idéale serait d'incliner différemment le capteur suivant la période de l'année.[15]

III.3 Déroulement de l'expérimentation

Avant de commencer à prendre des mesures, il faut prendre le soin de préparer le banc d'expérimentation comme suit :

- Remplissage de la cuve de stockage ;
- Prévoir des couvertures, afin de pouvoir protéger les surfaces planes des capteurs ;
- Programmation de l'enregistreur.

Une fois que tout est prés, nous mettons l'enregistreur en marche.

III.3.1 Paramètre à mesurer

Les différents paramètres à mesurer sont :

- Les températures aux différents niveaux de la cuve de stockage et du capteur ;

- La température ambiante ;
- L'éclairement global incliné sur les surfaces des capteurs.
-

III.3.2 Mesure des températures de l'eau

III.3.2.1 Au niveau de la cuve de stockage et des capteurs

Pour la mesure des températures, nous avons utilisé les thermocouples de type K (chromel-Alumel) à la sortie et à l'entrée de la cuve et les capteurs.la soudure des jonctions est faite, à l'atelier par soudage au chalumeau. Ensuite, nous avons procédé à l'opération de l'étalonnage en utilisant un thermomètre digital type ELEC comme référence.

III.4 Principe d'un thermocouple

Un thermocouple est composé de deux jonctions reliant chacune deux fils de nature différente. L'une des jonctions au point de mesure, constitue la soudure chaude, l'autre jonction est la soudure froide, dont la température est connue et sert de température de référence.

Une différence de température entre les deux jonctions produit une F.E.M (force électromotrice) et un courant circule dans la boucle.

III.4.1 Choix des thermocouples

Critères de choix d'un thermocouple :[15]

- Domaine de température à mesurer ;
- Sensibilité du couple ;
- Résistance à la corrosion ;
- Interchangeabilité ;
- Tenue du couple dans une atmosphère donnée.

III.4.2 Normalisation des thermocouples

Type de thermocouple	Alliage	Domaine de la table en °C
K	Nickel-Chrome /Nickel-Aluminium	-270 à 1370°C
T	Cuivre / Cuivre-Nickel	-270 à 400°C
J	Fer/Cuivre-Nickel	-210 à 1300°C
N	Nickel Chrome-Silicium/Nickel-Silicium	-270 à 1300°C
E	Nickel-Chrome/ cuivre-nickel	-270 à 1000 °C
R	Platine 1 3% Rhodium/Platine	-50 à 1760°C
S	Platine 10% Rhodium/Platine	-50 à 1760 °C
B	Platine 30% Rhodium/Platine 6% Rhodium	0 à 1820°C
G (non normalisé)	Tungsténe /Tungsténe 26% Rhénium	1000 à 2300°C
C (non normalisé)	tungsténe 5% Rhénium/ Tungstène 26% Rhénium	0à2300°C
D (non normalisé)	Tungsténe 3% Rhénium / Tungsténe 25% Rhénium	0 à2400°C

Tableau III.4.2:la normalisation de thermocouple

En ce qui concerne notre cas la gamme de température à mesurer varie de 0 à 100°C, pour cela nous avons choisi des thermocouples de type K en raison de leur disponibilité, leur bonne sensibilité, et leur temps de réponse associées a une courbe de réponse quasi linéaire dans le domaine de température envisagé.

III.5 Mesure de l'éclairement globale incliné

La mesure de l'éclairement globale a été effectuée a l'aide d'un pyranométre de type KIPP et ZONEN (CMS), ayant une précision de 1%.

Figure III.5: pyranométre utilisé pour mesurer l'intensité du rayonnement globale

III.6 Enregistrement des données

Enregistreur OM-3000 SERIES

L'ensemble des thermocouples sont reliés à l'enregistreur OMEGA sans câble de compensation, car l'avantage de cet enregistreur est qu'il est portable, donc on peut se déplacer à n'importe quel moment pour prendre des mesures de température.

Figure III.6 : enregistreur OMEGA

III.7 Enregistreur LINSEIS L2200

L'ensemble des thermocouples sont reliées par un câble de compensation à une chaine d'acquisition LINSEIS L2200 programmée pour les mesures de température de 0°C à 200°C sur un papier diagramme ou une diskette.par l'interface incorporée, Les mesures enregistrées

peuvent être transmise à un ordinateur ou elles seront mémorisées et exploitées. La vitesse de transmission est de 40 mesures/sec par voie.

Les mesures de température sont faites en utilisant des thermocouples dont leur arrangement est linéaire. Le type de thermocouple utilisé peut être l'un de ces neuf catégories : J, K, E, T, N, R, S, B et C. donc, avant de procéder aux mesures, il faut indiquer le type à utiliser.

Figure III.7: enregistreur LINSEIS

Figure III.7.1:échelle de l'enregistreur

III.8 Affichage des valeurs de mesure

L'affichage des mesures s'effectue sur un afficheur à cristaux liquide LCD :

- Toutes les voies en numérique et en unités d'utilisateur ;
- Une voie en gros caractères et en diagrammes en barres ;

- Deux voies en gros caractères ;
- Toutes les voies par diagramme en barres ;
- Une voie en présentation graphique.

III.9 Conclusion

L'étude expérimentale nous a permis de se familiarisé avec les installations de production d'eau chaude solaire on testant les différents composants de l'installation permettant ainsi de prévoir une meilleure conception pour le future. Les résultats expérimentaux sont représentés dans le chapitre suivant.

Chapitre IV Résultats et Interprétation

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les principaux résultats des études théoriques et expérimentales qui ont été menées sur l'installation individuelle décrite dans le chapitre III. La comparaison entre les valeurs obtenues par les deux approches est faite, pour nous permettre de porter un jugement sur les possibilités de prévision des performances thermique à long terme du modèle théorique.

IV.2 Comparaison entre les résultats théoriques et expérimentaux :

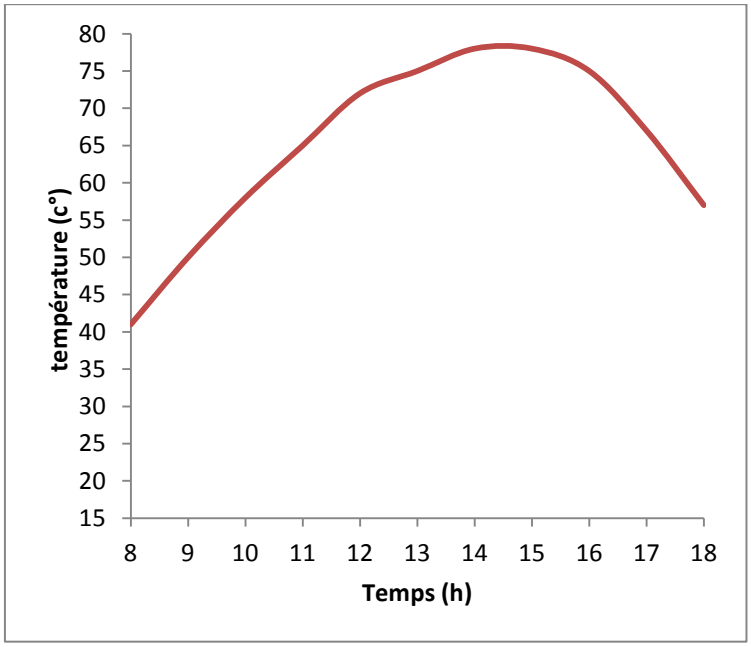


Figure IV.1: évolution de la température de la plaque en fonction du temps

IV.2.1 Evolution de la température de la plaque en fonction du temps :

Dans la Figure IV.1 on à présenté l'évolution de la température de la plaque absorbante en fonction du temps. On constate qu'elle augmente progressivement avec l'éclairement, et l'après-midi elle continue à augmenter malgré la diminution de l'éclairement, ceci est dû à l'inertie du système.

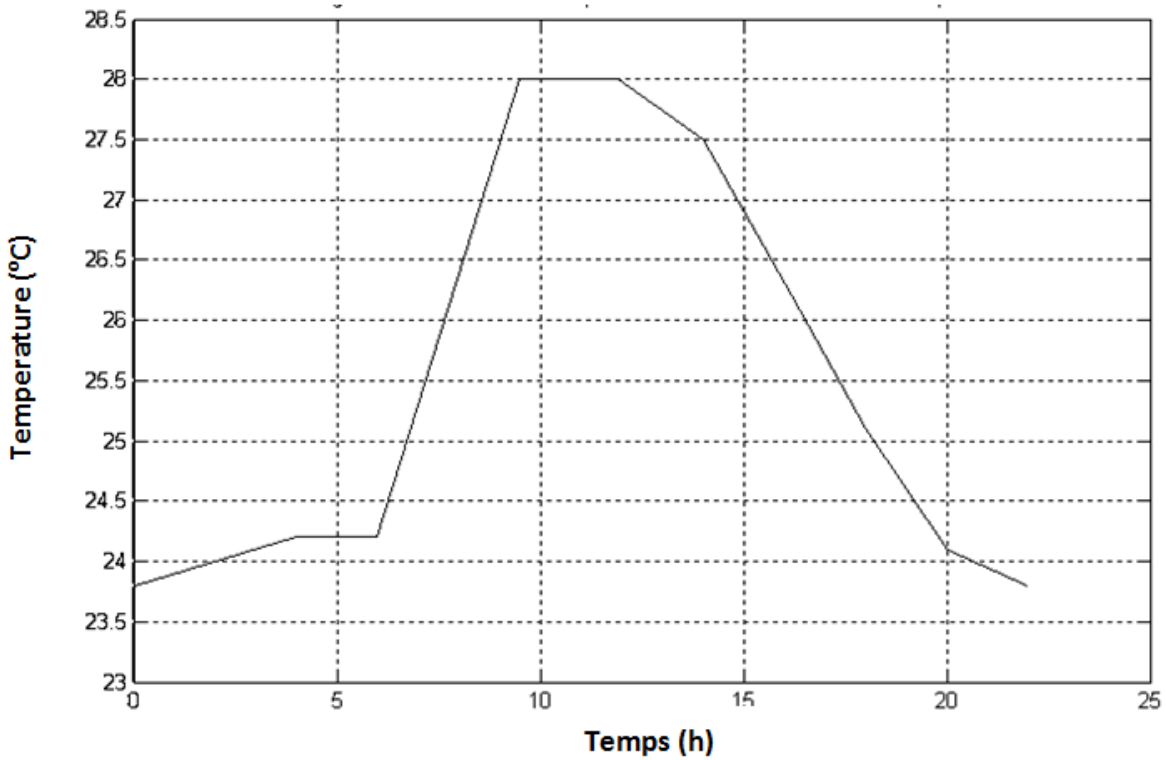


Figure IV.2 L'évolution de la température ambiante en fonction du temps

IV.2.3 Evolution de la température ambiante en fonction du temps

La figure IV.2 représente l'évolution de la température ambiante mesurée durant la journée 30/07/2007, elle varie entre 23^0C et 28^0C.

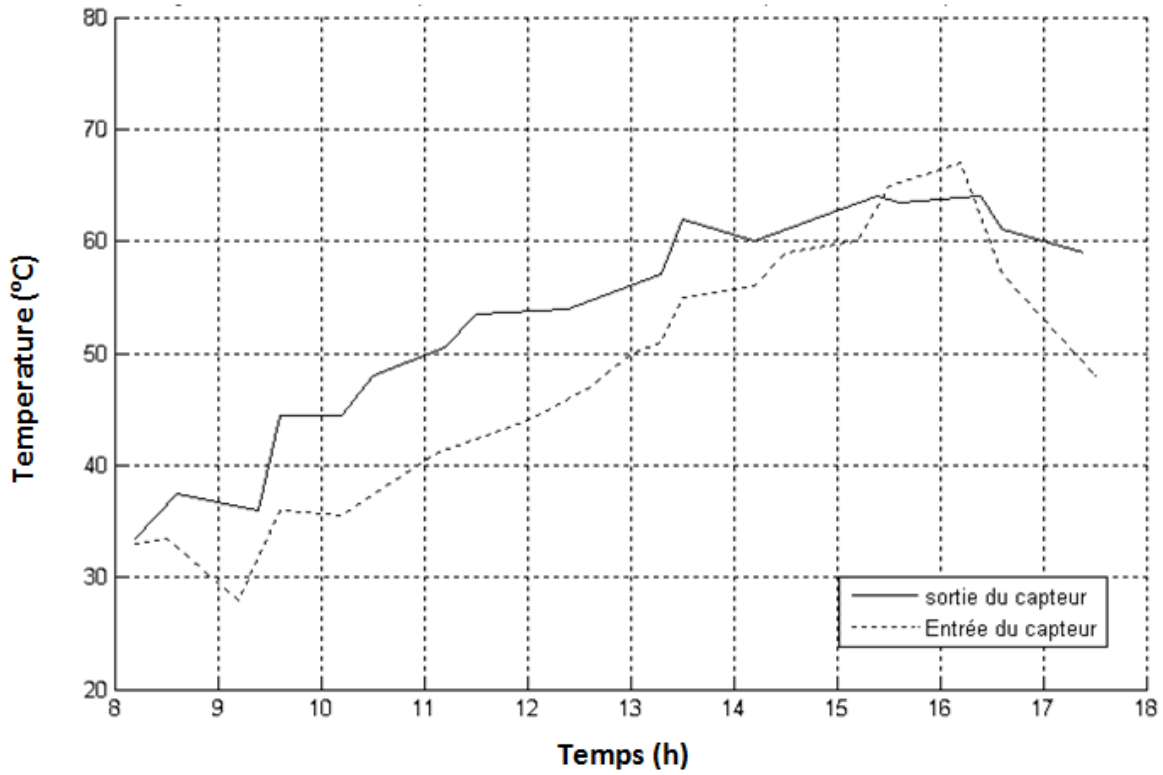


Figure .IV.3 L'évolution de la température d'entrée et de sortie du capteur,

Obtenues expérimentalement

IV.2.2 Evolution de la température d'entrée et de sortie du champ de captation :

Les figures IV.3 IV.6 représentent les évolutions de température d'entrée et de sortie du champ de captation.

La courbe de la température de sortie du champ présentée sur la figure IV.8 est similaire a celle de la température de la plaque absorbante, ceci est du a l'énergie absorbée par cette dernière qui est transmise au fluide caloporteur, pour cet effet l'augmentation de la Température de la plaque entraine l'augmentation de la température de sortie de l'eau. Les courbes obtenues théoriquement et expérimentalement dans les figures IV.3 et IV.6 respectivement ont des évolutions similaires.

On constate que la température de sortie augmente plus vite que de l'entrée et a la fin de fonctionnement du système cette température diminue pour atteindre la température.

Par contre dans les figures IV.3 et IV.6 on remarque qu'il y'a un écart important entre les courbes théoriques et expérimentales, cela est du aux :

- Contact entre le thermocouple et la conduite extérieure.

- L'isolation des thermocouples(les pertes avec l'environnement).

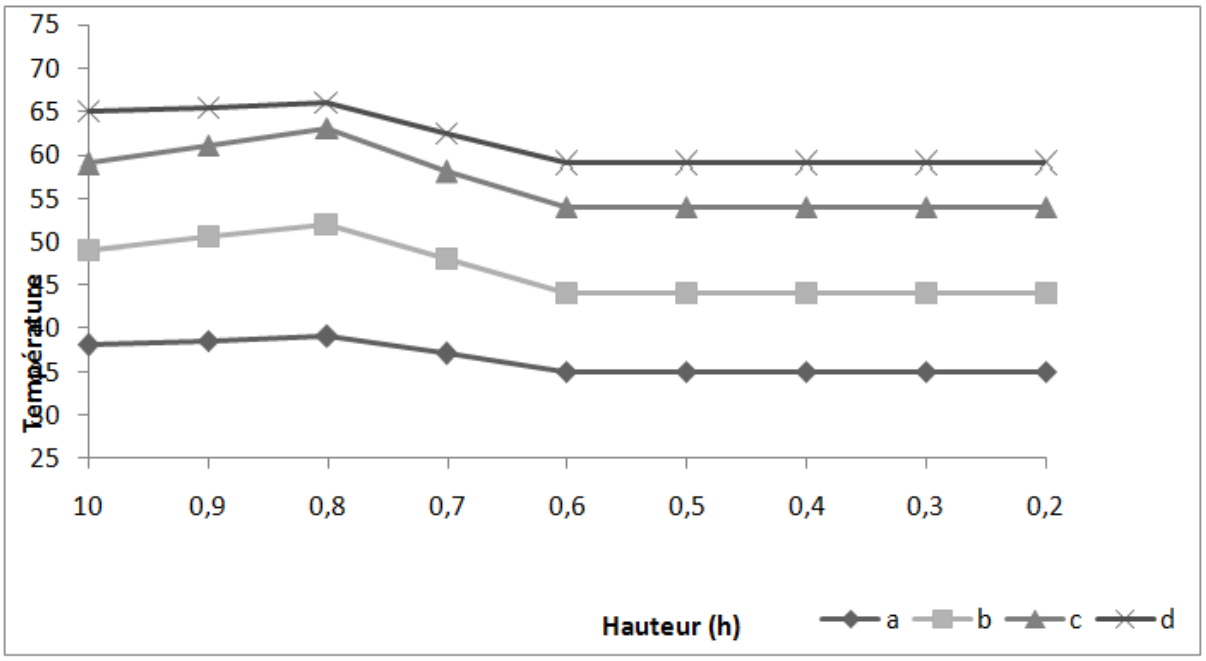


Figure IV.4: Courbe théorique de L'évolution de Te de la cuve

(a) : 10h

(b) : 12h

(c) : 14h

(d) : 16h

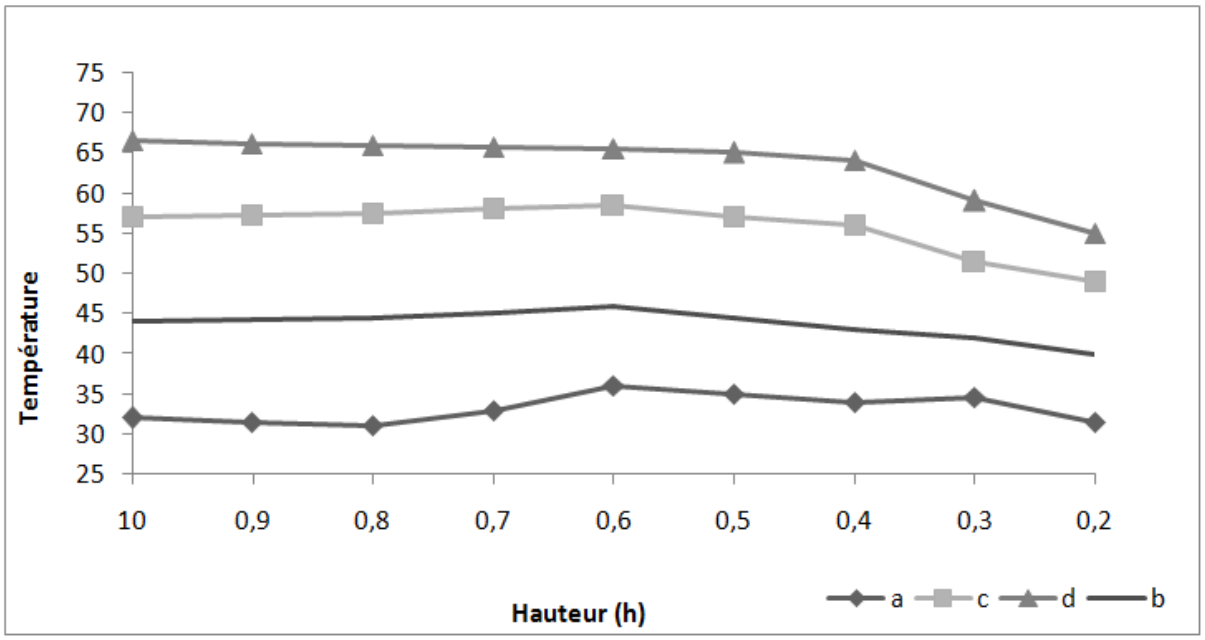


Figure IV.5 :courbe experimentale de levolution de Te de la cuve

(a) : 10h

(b) : 12h

(c) : 14h

(d) : 16h

IV.2.4 L'évolution de la température de l'eau dans la cuve en fonction de la hauteur

Les figures IV.4 et IV.5, représentent la variation expérimentale et théorique de la température dans la cuve en fonction de la hauteur pour différents moments. On remarque qu'il y'a un écart assez grand entre les courbes théoriques et experimentales.les courbes expérimentales présentent des valeurs de température d'une part maximale dans la zone d'entrée du fluide caloporteur et d'autre part minimale à la sortie du fluide caloporteur du fait ce dernier a cède une quantité importante de sa chaleur à l'eau stockée dans la cuve.

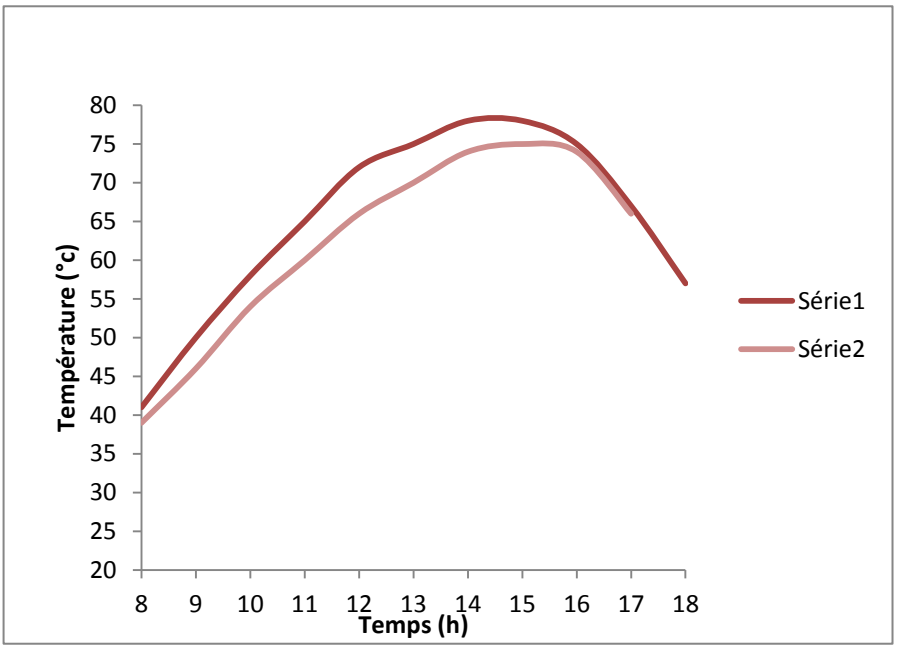


Figure IV.6 : L'évolution des températures d'entrée et de sortie du capteur, obtenues théoriquement

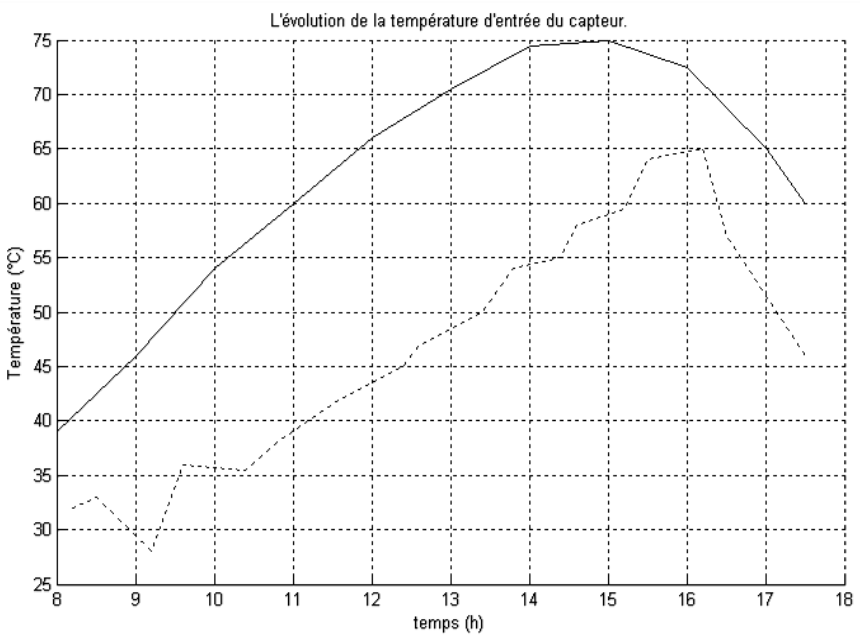


Figure IV.7 :. L'évolution de la température d'entrée du capteur.

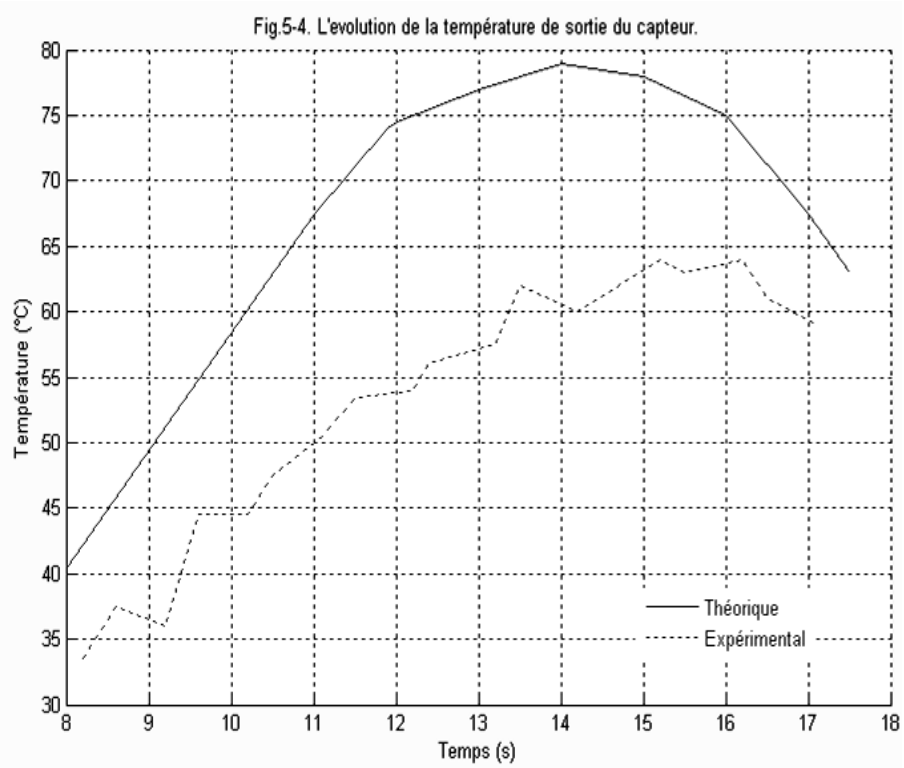


Figure IV.8 L'évolution de la température de sortie du capteur.

IV.2.5 Evolution de la température de l'eau dans la cuve de stockage

L'évolution de la température présente deux phases importantes :

Phase 1 : allant de 9heures à 16heures, ou l'éclairement global dans cette période est assez grand pour faire augmenter la température à l'intérieur de la cuve. La courbe présente une pente ascendante ce qui explique que le gain d'énergie est important.

Phase 2 : allant de 16heures à 20heures, phase de relaxation de la cuve, le système étant à l'arrêt et la température est relativement élevée dans chaque zone. L'évolution de cette dernière est presque une droite à faible pente, cela s'explique par les pertes thermiques vers l'extérieur.

IV.3 Conclusion

Sur les courbes on voit que le rendement du capteur suit l'évolution de la température de l'eau, c'est à dire faut faire circuler l'eau mais par contre dans la cuve c'est le contraire, et elles montrent que les installations sont performantes, on peut avoir des résultats meilleurs en diminuant les pertes.

Les chauffe eau solaires s'adapte très bien avec notre climat (nord ou sud), la demande en eau chaude est très grande au nord qu'au sud mais pour l'ensoleillement c'est le contraire.

Conclusion générale

Le travail que nous avons réalisé au niveau du site du centre de développement des énergies renouvelables Bouzareah C.D.E.R, éte très bénéfique vu la connaissance acquit dans le domaine des énergies renouvelables et en particulier le solaire thermique.

Les résultats expérimentaux sont très satisfaisants, on a bien vue que l'écart de température entre entrée et sortie du capteur et cuve est important et dépasse les 10%,ce qui montre les performance de ces installations et donc confirme les résultats théoriques (dimensionnement)

Les chauffe eau solaire sont parmi les applications qui font preuve de leurs performances dans beaucoup de pays au monde, mais reste son développement en Algérie négligé bien que le climat est très favorable, que ce soit au sud ou au nord , ils permettent d'évités le rejet de gaz a effet de serre , faire des économies et donc préserver nos ressources naturelles pour un développement durable.

Notre travail contribue au développement du domaine de production d'eau chaude solaire dans notre pays. Notre souhait et que l'état encourage ce genre d'application a travers des subventions et des crédits. Une telle contribution mènera inévitablement à la création d'un marché des chauffe eau solaires, qui peut être au même niveau que les marchés des pays qui sont en avance dans le domaine.

Références Bibliographiques

[1] F.SAHNOUNE Dimensionnement et expérimentation d'un chauffe eau solaire collectif ,doctorat umbb boumerdes

[2] dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream

[3] F.BOUHIREB commande et contrôle d'une installation solaire thermique, mémoire de magister, université M'hamed Bougara Boumerdes octobre 2004.

[4] Mr BEKKOUCHE Sidi Mohammed El Amine Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires Doctorat en Physique Option « Electronique et Modélisation »

[5]MS KHELIFI Expérimentation des installations de production d'eau chaude solaire pour différents site d'Algérie –énergétique-

[6] Mohammed Salah MEFTAH magister « Etude théorique et Application pratique d'un système de chauffe-eau solaire en vue de la production de l'eau chaude sanitaire »

[7] J, Bonal; P, Rossetti. Les énergies alternatives, Omniscience. (2007).

[8]: Guide de l'installation solaire dans l'habitat-edition européenne thermique et industrie PARIS.

[9] A, H, Khedim. Energie solaire et son utilisation sous forme thermique et photovoltaïque, Centre de Publication Universitaire. (2003).

[10]: A.Salmi H.Oumella « Calcul et dimensionnement d'une installation de chauffage

[11]www.Climatisation.com lexique chauffage solaire

[12] S.A. Kalogirou / Progress in Energy and Combustion Science

[13]SAADI SOUAD effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan Spécialité : Energies renouvelables.

[14]Guide d'entretien aux propriétaires d'un Chauffe-eau solaire

[15] : internet : www.tecsol.fr.

[16] : « Etude du comportement théorique d'une cuve de stockage d'eau chaude produite par une installation solaire » documentation au niveau de C.D.E.R