

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie Mécanique

Spécialité : Génie Thermique et Energies Renouvelables

Par : Beldjilali Imane .

Boumediene Yassine.

Sujet

Etude Et Réalisation D'un Capteur Solaire Plan A Air

Soutenu publiquement, le 26/05/2016, devant le jury composé de :

Mr. Ghernaout Mea	Pr	Univ. Tlemcen	Président
Mr. Guellil Hocine	MAA	Univ. Tlemcen	Examineur
Mr. Rostane Brahim	MCB	Univ. Tlemcen	Examineur
Mr. Aliane Khaled	MCA	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire
Mr. sari hassoun zakaria	MCB	C.U.A. Temouchent	Co. Encadreur

Année Universitaire : 2015 - 2016

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Dédicaces

Je dédie ce travail à mes très chers parents,

Votre courage, vos sacrifices ont été pour moi le meilleur soutien

Durant ce long parcours, veuillez trouver dans ce travail une grande

Reconnaissance pour ce que vous avez entrepris à mon égard,

et un fruit de toutes vos prières et vos efforts.

A mes chers frères. Mohammed, Abdallah

A tous mes amis .Imane, Nadia, Meryem

A tous mes collègues de Master 2 en GTER.

A tous les membres de la famille Beldjilali et Boubarka .



Beldjilali Imane



Remerciment

Je tiens à remercier en premier lieu et avant tout ALLAH le tout puissant,
qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce travail dans les
meilleures conditions.

Je remercie également ma famille pour les sacrifices qu'elles ont faits pour
que je termine mes études.

Je remercie vivement et chaleureusement **Mr. Aliane Khaled** encadreur de
ce mémoire, pour m'avoir soutenu et guidé tout au long de ce mémoire. Je
la remercie particulièrement pour la confiance qu'elle m'a accordée, pour
sa rigueur scientifique, pour sa patience et pour ses conseils judicieux qui
ont contribué à la réalisation et l'accomplissement de ce travail.

Tous mes remerciements et mon estime à tous les enseignants du
département de **Génie Mécanique**.

A tous, je tiens à exprimer mes sincères remerciements.

Beldjilali Imane





Remerciment

Je tiens à remercier en premier lieu et avant tout ALLAH le tout puissant, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce travail dans les meilleures conditions.

Je remercie également ma famille pour les sacrifices qu'elles ont faits pour que je termine mes études.

Un gros merci à tous ceux et celles qui de loin ou de près ont contribués à élaborer ce modeste travail, Je cite nommément :

A mon encadreur Mr. **ALIAN Khalad**, Enseignant à l'université Abou Bekr Belkaïd- Tlemcen pour avoir accepté nous prendre en charge, et la sollicitude avec laquelle il a suivi et guidé ce travail.

Également je remercie sincèrement :

- Mr. **SABAN**, Enseignant à l'université Abou Bekr Belkaïd- Tlemcen, et responsable de l'atelier de mécanique.
- Tous mes remerciements et mon estime à tous les enseignants du département de génie mécanique.



Boumediene Yassine .

SOMMAIRE

CHAPITRE 1 : LES DIFFERENTES FORMES D'ENERGIES RENOUVELABLES

1-1-LES DIFFERENTES FORMES D'ENERGIES RENOUVELABLES ...	1
1-1-1-Energie éolienne.....	1
1-1-2-Energie hydraulique	2
1-1-3-Energie géothermique.....	2
1-1-4-La biomasse	4
1-1-5-L'énergie solaire	4
1-2-GENERALITE SUR L'ENERGIE SOLAIRE	5
1-2-1- Le soleil	5
1-2-2-Le rayonnement solaire	7
1-2-3-La constante solaire C*	8
1-3-LE GISEMENT SOLAIRE EN ALGERIE	8
1-4-CALCUL DE LA POSITION DU SOLEIL.....	10
1-4-1. Les paramètres de position.....	10
1-4-1.a. Les coordonnées géographiques.....	10
1-4-1.b. Les coordonnées célestes horizontales	10
1-4-1.c. Les coordonnées célestes horaires	11
1-4-2. Les paramètres de temps.....	12
1-5 -LES DIFFERENTS TYPES DE CAPTEURS SOLAIRES.....	12
1-5-1-capteur solaire photovoltaïque	12
1-5-2-1-Capteur solaire thermique	14
1-5-2-2-Centrales solaires thermodynamiques.....	19
1-6-STOCKAGE D'ENERGIE.....	23
1-6-1-Le choix des technologies de stockage	23
1-6-2-Comment stocker de l'énergie.....	24
1-6-2-1-Stockage mécanique	24
1-6-2-2 Stockage d'électrochimie.....	24
1-6-2-3-Stockage thermique.....	25
1-6-2-3-1-Stockage thermochimique.....	26
1-6-2-3-2-Stockage d'énergie thermique.....	27

CHAPITRE 2 : GENERALITES SUR LES CHAUFFE -EAUX SOLAIRES

Introduction.....	30
2.1 LES PHENOMENES PHYSIQUES MIS EN JEU.....	30
2.2 LE CAPTEUR	30
2.2.1 Le Principe de fonctionnement.....	30
2.2.2 Le choix d'un modèle de capteur.....	31
2.3 LE RESERVOIR ET LES CANALISATIONS	31
2.3.1 Le réservoir	31
2.3.2 Les canalisations	31
2.4 BILAN THERMIQUE.....	32
2.4.1 Mécanisme de pertes.....	32
2-4-1-1-Les pertes thermiques d'un capteur.....	32
2-4-1-2-Pertes Par Conduction.....	32
2-4-1-3-Pertes Par Convection.....	32
2-4-1-4- Pertes par Rayonnement.....	33
2.4.2.1 Pertes thermiques vers l'avant du capteur.....	34
2.4.2.2 Pertes thermiques vers l'arrière d'un capteur.....	35
2.4.2.3 Pertes thermiques vers les côtés d'un capteur.....	35
2.4.3 Le Rendement du capteur thermique plan.....	35
2.5 MODE DE FONCTIONNEMENT D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE	37
2.5.1 Mode de circulation	37
2.5.1 .1 Circulation naturelle (par thermosiphon).....	38
2.5.2 Types de stockage	38
2.5.2.1 Stockage avec échangeur: système à deux fluides	38
2.5.2.2 Stockage sans échangeur: système à un fluide	39
2.6 ETUDE DES BESOINS	39
2.6.1 Variables qui influent sur la consommation	39
2.6.2 Besoin dans les habitations	41
2.6.2.1 Besoins en fonction des habitants.....	41
2.6.2.2 Besoins en fonction des logements et des équipements	41
2.6.3 Besoins journaliers d'une habitation en [kWh]	43
2.7 CHOIX DES MATERIAUX	43
2.7.1 Le vitrage	43
2.7.2 L'absorbeur et le serpentin.....	44
2.7.3 L'isolation	44
2.7.4 Le cadre (ou coque).....	44
2.7.5 L'enveloppe intérieure du réservoir	44

CHAPITRE 3 :REALISATION INSTALLATION EXPERIMENTATION

Réalisation	45
3-1REALISATION DU CAPTEUR.....	45
3-1-1 L'absorbeur (L'échangeur).....	45
3-1-2 Le cadre	46
3-1-3 L'isolation.....	47
3-1-4 Une plaque absorbante	48
3-1-5 Une couverture transparente.....	49
3-1-6 Le support du capture.....	50
3-2-CIRCUIT HYDRAULIQUE.....	51
3-3-INSTRUMENTATION DU CAPTEUR.....	52
3-3-1-Mesure de l'éclairement.....	52
3-3-2-Mesure des températures.....	52
3-3-2-1-lecture des données.....	53
3-3-3-Mesure des vitesses	54
3-4-LES DIFFERENTS PARAMETRES D'UN CAPTEUR.....	54
3-4-1-Paramètres externes.....	54
3-4-2-Paramètres interne.....	54
3-4-3-Paramètres de fonctionnement.....	55
3-5-DEROULEMENT DES EXPERIENCES.....	55
3-6-RESULTATS ET INTERPRETATION.....	55
3-6-1-Les pertes vers l'avant.....	57
3-6-2- Les pertes vers l'arrière.....	58
3-6-3- Les pertes vers les côtés.....	59
3-6-4 Le Rendement.....	59

NOMENCLATURE

ϕ	Latitude d'un lieu	°
δ	La déclinaison	°
I_0	La constante solaire	$W.m^{-2}$
I_c	L'irradiation solaire	w/m^2
A	La surface de captation du système	m^2
dQ	Energies elementary	J
λ	Conductivité thermique du matériau en	W
S	Section en	m^2
ξ	L'épaisseur de la couche	m
h	Coefficient de convection en	w
α	Absorptivité moyenne	
ρ	Réfectivité moyenne	
τ	Transmissivité moyenne	
Q_u	L'énergie utile	w
η_0	Le rendement optique	
I_g	L'irradiation globale	w/m^2
U_g	Les pertes globales	w/m^2K
\dot{m}	Le débit massique dans le serpentin	Kg/s
η	Le rendement instantané du capteur	
C_p	La chaleur spécifique de l'eau	J/(kg.°)
F'	Fonction de la qualité du transfert de chaleur entre l'absorbeur et le fluide	
T_{amb}	Température de l'air ambiant	K
G	Rayonnement solaire globale	W/m^2
λ_{cond}	Conductivité thermique du tube en cuivre	w/mk
Nu	Le nombre du Nusselt	
Re	Le nombre de Reynolds	
L_i	Largeur de l'isolant	m
λ_{is}	la conductivité thermique de l'isolant	w/mK
N	Nombre de vitrage	
h_w	le coefficient de transfert du eau vent	w/mK

LISTE DES FIGURES

Chapitre 1: Généralités sur le captage et le stockage de l'énergie solaire

Figure 1-1 : schéma d'ensemble d'une éolienne.

Figure 1-2 : Principe de fonctionnement d'une centrale hydraulique.

Figure 1-3 : la répartition de la température dans le globe terrestre.

Figure 1-4 : Schéma soleil

Figure 1-5 : Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel

Figure 1-6 : Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu

Figure 1-7: Schéma descriptive pour les angles latitude et longitude de la terre.

Figure 1-8 : Les coordonnées célestes horizontales

Figure 1-9 : Variation annuelle de la déclinaison solaire

Figure 1-10 : Capteur solaire photovoltaïque

Figure 1-11 : Capteur solaire plan vitré

Figure 1-12: capteur solaire non vitre

Figure 1-13 : capteur à tubes sous vide

Figure 1-14 : capteur à tubes sous vide à flux direct

Figure 1-15 : capteur à tubes sous vide à flux direct à caloduc

Figure 1-16 : capteur à tubes sous vide à flux direct à caloduc de type "Sydney" / CPC

Figure 1-17: Schéma de Capteur concentration

Figure 1-18: Capteur concentration

Figure 1-19 : Schéma de principe d'une centrale solaire thermodynamique à génération indirecte

Figure 1-20: Description schématique des différentes technologies de récepteurs solaires

Figure 1-21 : Vue de l'ensemble des moyens de stockage d'énergie

Figure 1-22: Principales techniques de stockage de l'énergie thermique

Figure 1-23 : Station de stockage d'énergie thermique par la chaleur sensible

Figure 1-24 : station de stockage de l'énergie par la chaleur latente

Chapitre 2: Généralités sur les chauffe -eaux solaires

Figure 2-1: Modèle de capteur plan vitré

Figure 2-2: Mécanisme des pertes

Figure 2-3 : Figure 2-3 : rendement du capteur en fonction de température de l'air ambiant et température moyenne du fluide caloporteur

Figure 2-4: Fonctionnement en thermosiphon

Figure 2-5: Fonctionnement avec circulateur

Figure 2-6 : stockage avec échangeur

Figure 2-7 : Stockage sans échangeur

Figure 2-8 : Variation de la consommation d'eau chaude en ans

Figure 2-9: Variation de la consommation d'eau chaude en fonction des jours et de l'heure de la journée

CHAPITRE 3: Réalisation Installation Expérimentation

Figure 3-1: Réalisation de l'échangeur

Figure 3-2: Schéma de l'échangeur

Figure 3-3: Le cadre en bois

Figure 3-5:l'emplacement de l'isolant

Figure 3-6 :la laine de verre .

Figure 3-7: la plaque en aluminium sans peinture.

Figure 3-8 :le plaque en aluminium avec peinture et l'échangeur

Figure 3-9: l'emplacement de la vitre

Figure 3-10: l'emplacement de mastic

Figure 3-11 : Le support du capteur

Figure 3-12 : Circuit hydraulique

Figure 3-13 : Schéma de Circuit hydraulique

Figure 3-14 : photo graphie du solarimètre

Figure 3-15: photographie d'un thermocouple Type K

Figure 3-16: l'emplacement des thermocouples

Figure 3-17 : Le thermomètre type TESTO

Figure 3-18: l'anémomètre

Figure3-19 : Evolution des températures (T_e , T_s et T_R) en fonction du temps du premier jours

Figure3-20 : Evolution des températures (T_e , T_s et T_r) en fonction du temps du deuxième jours

Figure3-21 : Evolution des températures (T_e , T_s et T_r) en fonction du temps du deuxième jours

Figure 3-22 : Evolution des Irradiation solaire (I_{c1j} , I_{c2j} et I_{c3j}) en fonction du temps

Figure 3-23 Evolution des températures d'entrée de capteur en fonction du temps

Figure3-24 Evolution des températures (T_1 , T_2 , T_3 , T_4 et T_5) en fonction du temps

Figure3-25 Evolution des températures (T_{air} , T_{amb} et T_v) en fonction du temps

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-1 : Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques.

Tableau 2-1 : Besoins journalier personne en l/j.

Tableau 2-2 : Besoins d'eau chaude pur équipement sanitaire

Tableau 3.1 : Relevés de températures.(08/05/2016)

Tableau 3.2: Relevés de températures.(09/05/2016)

Tableau 3.3 : Relevés de températures.(10/05/2016)

INTRODUCTION GENERALE

Actuellement, l'un de défis majeurs mondiaux est la maîtrise de l'énergie du fait que l'énergie pétrolière, qui se trouve être la plus utilisée, devient de plus en plus chère et tend à se raréfier. De plus l'utilisation du pétrole comporte des risques pour l'environnement. C'est pourquoi dans le souci d'économiser de l'énergie et de limiter l'émission des gaz à effet de serre, on trouve une grande motivation à s'orienter vers les énergies dites renouvelables telles que le soleil, le vent, l'eau et la biomasse qui sont inépuisables grâce au cycle naturel. L'énergie solaire est utilisée depuis longtemps pour répondre à un certain nombre de besoins thermiques, notamment, le séchage, la cuisson, le chauffage de l'eau domestique et de piscines, le dessalement des eaux saumâtres, la stérilisation et la réfrigération.

L'eau chaude sanitaire constitue un volet important dans la recherche de confort des personnes. Cependant, on obtient une demande de quantité d'énergie considérable. Nous adopterons donc la solution du chauffe-eau solaire compte tenu de ses avantages économiques et environnementaux plutôt que les systèmes à accumulation ou thermodynamique.

Ce projet vise à mettre en place un chauffe-eau solaire pour usage domestique répondant aux besoins quotidiens en eau chaude sanitaire à un coût abordable. Une analyse des capteurs existants et une évaluation des propriétés thermiques de matériaux constitutifs complétés par une étude économique permettront de proposer un modèle de chauffe-eau qui convient face aux exigences précédemment citées. Pour ce faire, nous ferons cette étude en évoquant dans un premier temps quelques généralités sur le chauffe-eau (principe général, capteur, réservoir, etc.), ensuite nous procédons au dimensionnement des différents constituants, puis nous terminons notre travail par une réalisation du capteur.

CHAPITRE 1:

Généralités sur le
captage et le stockage
de l'énergie solaire.

1-1-LES DIFFERENTES FORMES D'ENERGIES RENOUVELABLES :

Une énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humaine. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique) [1].

On considère les sources d'énergie suivantes comme des ressources renouvelables: -l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, l'énergie géothermique, l'énergie marémotrice, la biomasse, l'énergie solaire.

1-1-1-Energie éolienne:

L'énergie éolienne est l'énergie liée au vent. Cette énergie est exploitée par les bateaux à voiles et les moulins, mais ces deux applications ont reculé durant la révolution industrielle face à la motorisation des installations. Actuellement cette forme d'énergie est exploitée par des éoliennes pour générer de l'électricité. Si cette énergie est illimitée (durée de vie de la Terre) et non polluante, elle présente cependant un rendement faible. Comme le solaire, elle fluctue énormément. Seules certaines régions présentent une exposition au vent suffisante. Certaines éoliennes sont placées en mer (offshore) afin de ne pas prendre de place sur terre, et de ne pas incommoder les populations.[1]

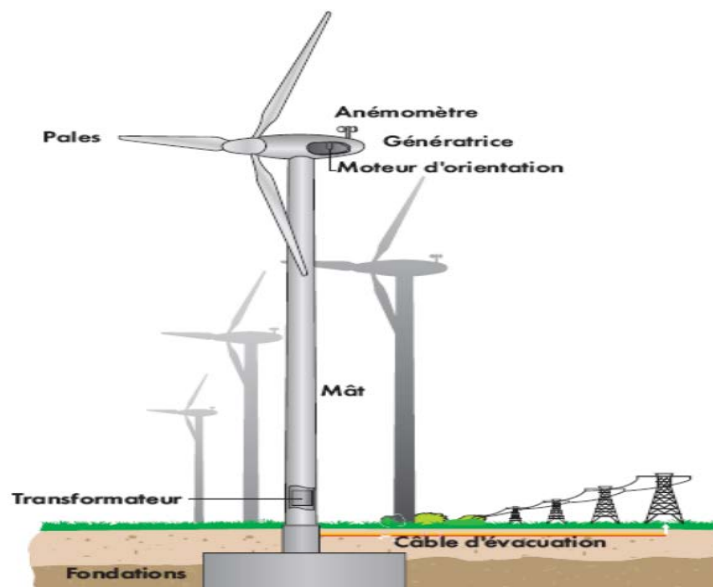


Figure 1-1-schéma d'ensemble d'une éolienne.[1]

1-1-2-Energie hydraulique :

L'eau des rivières possède une énergie potentielle de pesanteur. Cette dernière est exploitée dans des retenues d'eau, les barrages. L'eau qui s'écoule dans une conduite fait tourner des turbines et produit de l'électricité. Les barrages ont l'avantage de permettre une production électrique constante, sauf sécheresse. Par contre, l'impact environnemental est non nul : des vallées sont noyées, il faut permettre la migration des poissons (saumons) par des dispositifs adaptés... Egalement, le nombre de sites propices à la construction d'un barrage est limité. L'énergie hydroélectrique représente 90 % de la part des énergies renouvelables dans la production électrique [1]. Il existe d'autres formes d'énergie hydraulique, comme la force des marées. Des usines marémotrices ont la capacité d'exploiter cette énergie afin de produire de l'énergie électrique. Il est aussi question d'utiliser l'énergie des vagues, des courants marins [1]

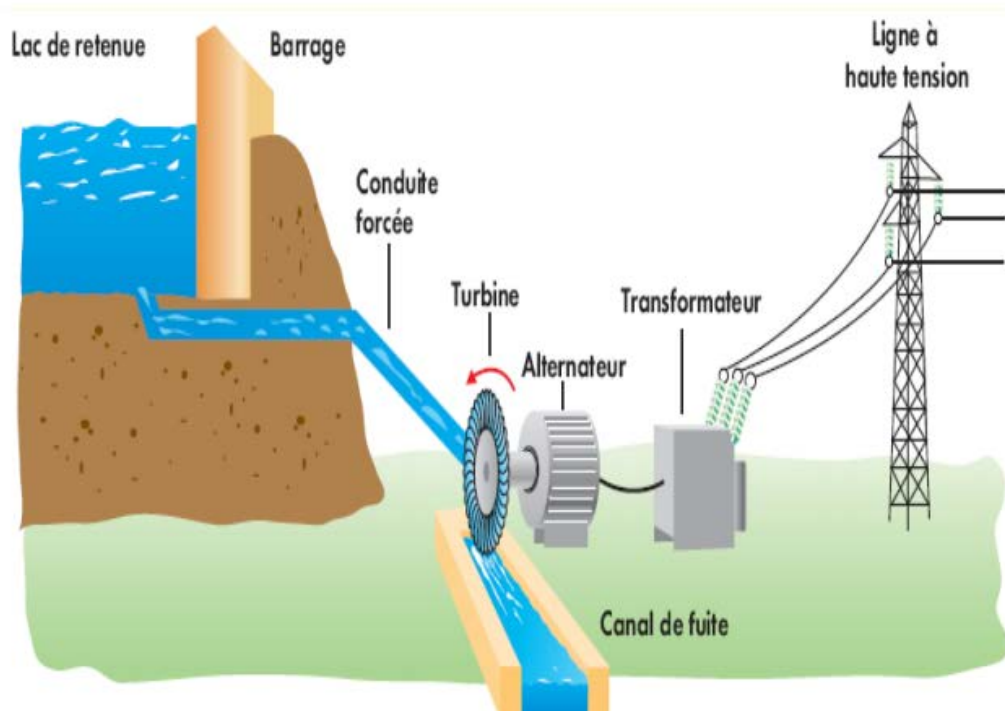


Figure1-2 :Principe de fonctionnement d'un centrale hydraulique .[1]

1-1-3-Energie géothermique :

- Géo qui veut dire Terre.
- Thermique qui veut dire chaleur.

Chapitre 1: Généralités sur le captage et le stockage de l'énergie solaire.

- La géothermie est donc l'utilisation de la chaleur qui vient de la Terre. En effet, plus on creuse profondément sous la Terre et plus la température augmente.

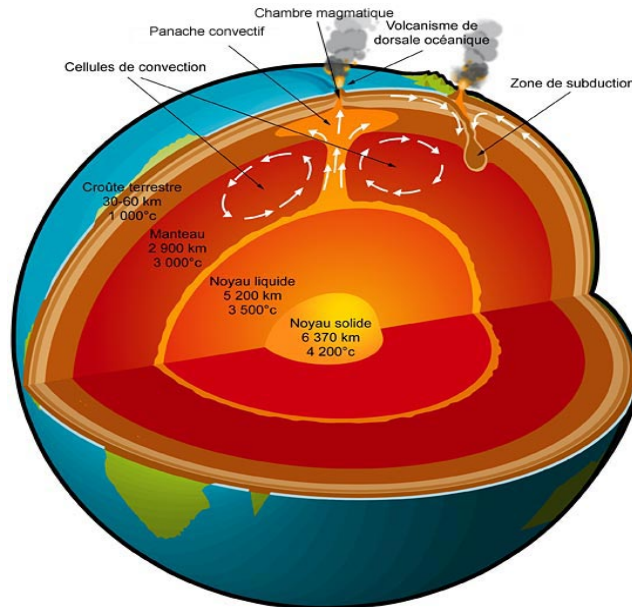


Figure 1-3 : la répartition de la température dans le globe terrestre [1].

Les types de géothermique :

a) Géothermie très basse énergie:

Géothermie à des températures inférieures à 40°C. Cette température très basse peut cependant être utilisée pour le chauffage si l'on adjoint un système de pompe à chaleur.

b) Géothermie basse énergie:

Géothermie dont les températures vont de 40°C à 90°C. Le niveau de température est souvent trop faible pour avoir un rendement intéressant de la conversion chaleur-électricité. Parfaite pour le chauffage des habitations et certaines applications industrielles ainsi que les procédés de climatisation.

c) Géothermie moyenne énergie:

Ce type de géothermie se présente sous forme d'eau chaude ou de vapeur humide à une température comprise entre 90 et 150°C. La géothermie moyenne énergie permet déjà la production d'électricité.

d) Géothermie haute énergie:

Elle concerne les fluides qui atteignent des températures supérieures à 150°C. Elles se situent dans des zones de gradient géothermique anormalement élevé ou à des profondeurs relativement importantes. Lorsqu'il existe un tel réservoir, le fluide peut être capté sous forme de vapeur sèche ou humide pour la production d'électricité.

1-1-4-La biomasse :

Le terme de biomasse désigne l'énergie chimique stockée dans la matière organique. Le bois est par exemple un combustible utilisé par l'Homme depuis que celui-ci maîtrise le feu. Plus récemment, on a les biocarburants afin de prévenir l'épuisement des réserves fossiles. Cependant, des critiques se sont élevées, car ces derniers nécessitent des terres cultivables (champ de colza, canne à sucre), d'où une concurrence avec la production alimentaire (épuisement des sols). La biomasse concerne également le traitement de déchets organiques, comme les ordures ménagères, afin de générer de la matière combustible. Le principal inconvénient de l'utilisation de la biomasse est que sa combustion est productrice de CO₂ et de polluants.[1].

1-1-5-L'énergie solaire :

Elle est renouvelable et écologique, elle peut être exploitée pratiquement partout sur la planète, contrairement aux combustibles fossiles, et elle n'est pas à la merci des hausses des prix de l'énergie. Elle est polyvalente, et produit de la chaleur, la lumière, l'énergie mécanique et l'électricité.

L'énergie solaire est l'énergie radiante produit par le soleil par réactions nucléaires de fusion, qu'arrive à la Terre à travers de l'espace en Quant d'énergie (Photons), ceux qui réagissent avec l'atmosphère et la surface terrestre. Mais l'intensité de l'énergie réellement disponible dans la surface terrestre est plus faible que celle qui arrive à l'extérieur de l'atmosphère, par l'absorption et la dispersion produit par l'interaction entre photons et l'atmosphère.

L'intensité d'énergie dans un point déterminé est fonction, d'une façon un peu prévisible, du jour de l'année, de l'heure, de la latitude, et en plus pour notre cas concret de l'orientation du dispositif récepteur, entre autre.

Une donnée intéressante est que pendant un an, le soleil émettra sur la surface terrestre quatre mille fois plus d'énergie de celle qu'on consommera. Le soleil émet

Chapitre 1: Généralités sur le captage et le stockage de l'énergie solaire.

sur La Terre pendant une heure la même quantité d'énergie que l'humanité consomme pendant un an.

Pour l'énergie solaire il faut profiter de la radiation pour l'obtention d'énergie directe sous forme de chaleur, ou par conversion en électricité.

Celle qui est utilisé sous forme de chaleur est l'énergie solaire thermique, il s'agit de bien profiter la radiation du soleil pour la production d'eau chaude, pour la consommation domestique ou industrielle, climatisation des piscines, chauffage des maisons, hôtels, écoles, usines, etc.

L'autre est l'énergie solaire photovoltaïque, il s'agit de transformer en électricité la radiation solaire par le biais de cellules photovoltaïques ou plaques solaires, [2].

1-2-GENERALITES SUR L'ENERGIE SOLAIRE :

1-2-1- Le soleil :[3].

Sans le Soleil, nous n'aurions pas de système solaire. Il fournit non seulement l'énergie nécessaire à la vie, mais aussi la force gravitationnelle qui confine les planètes sur leur orbite. Cette étoile éclaire et chauffe la Terre depuis un peu moins de 5 milliards d'années. Au centre de notre étoile solaire règne une fournaise nucléaire. 600 millions de tonnes d'hydrogène y « brûlent » chaque seconde. Mais, il reste heureusement au Soleil encore 5 milliards d'années à vivre. Le Soleil est le corps le plus massif du système solaire. Il est 330000 fois plus massif que la Terre. Il est également le corps le plus gros, avec un diamètre de 1 391 900 kilomètres, 109 fois supérieur à celui de la Terre.

Le Soleil est stratifié, peut se diviser en trois régions : le noyau, la zone radiative et la zone convective. La "surface" du Soleil visible correspond à la photosphère, recouverte par la chromosphère et sa couronne périphérique.

Il est essentiellement composé d'hydrogène, le plus léger des gaz. Le reste se répartit entre 10% d'hélium et quelques traces d'éléments plus lourds.

Le cœur du Soleil est un réacteur à fusion nucléaire naturel, d'une température de 14 millions de degrés.

➤ Données techniques :

- Type: Etoile moyenne
- Température: 5 500° C en surface

Chapitre 1: Généralités sur le captage et le stockage de l'énergie solaire.

- Rayon: 696 000 km
- Age: 5 milliards d'années
- Distance de la Terre: 158 millions de km

Le Soleil peut être décomposé en trois parties principales : le noyau, la zone radiative et la zone convective.

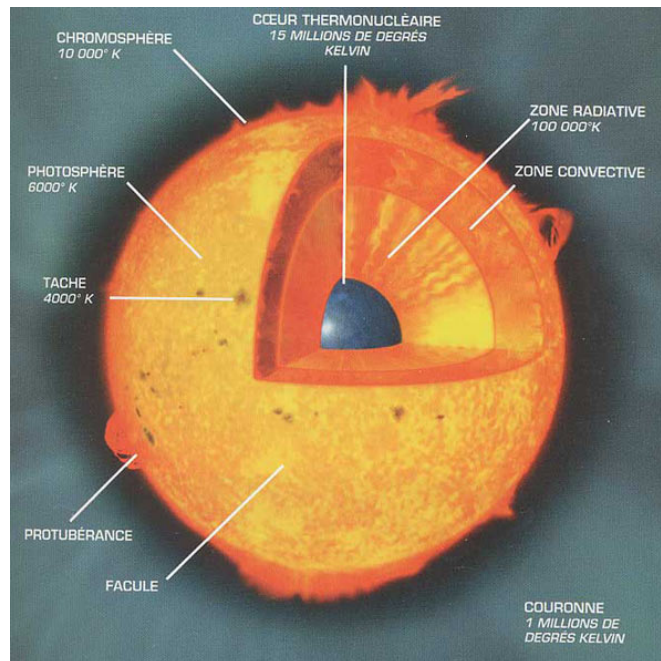


Figure 1-4 : Schéma soleil [3].

- Le noyau :

Les réactions nucléaires du centre du soleil produisent une énergie très intense qui dégage de la lumière. Cette lumière s'échappe du noyau vers la surface.

Le noyau central occupe 40 % du diamètre du Soleil, et représente la source de l'énergie solaire. Dans le noyau, la température est d'environ 15 millions de degrés K, et la pression d'environ $2,5 \times 10^{11}$ bars.

Le Soleil consomme plus de 700 millions de tonnes d'hydrogène par seconde, produisant 695 millions de tonnes d'hélium. Les 5 tonnes manquantes sont converties en énergie. Celle-ci, sous la forme de particules lumineuses, les photons, met environ 170 000 ans pour voyager à travers les différentes couches du

Chapitre 1: Généralités sur le captage et le stockage de l'énergie solaire.

Soleil et échapper à celui-ci. 8 minutes supplémentaires sont nécessaires aux photons pour traverser le système solaire et atteindre vos yeux.

- La zone radiative:

La zone radiative entoure le noyau. Elle s'étend jusqu'à 70 % du rayon du Soleil, et le transport d'énergie, dans cette région, se fait par rayonnement. Les gaz de la zone radiative sont relativement calmes.

- La zone convective:

La zone convective entoure la zone radiative, et correspond au reste du rayon du Soleil. Le transport d'énergie se fait par convection. La matière contenue dans cette zone est opaque au rayonnement ; par conséquent, celui-ci réchauffe le bas de la zone convective. La matière réchauffée s'élève, perd son énergie dans l'espace, puis disparaît.

1-2-2-Le rayonnement solaire :

L'énergie solaire qui arrive sur terre est disponible sous forme de rayonnement électromagnétique émis depuis le soleil. La puissance transmise par ce rayonnement varie avec la longueur d'onde du rayonnement. La plus grosse quantité d'énergie est apportée par les longueurs d'onde visibles (lumière blanche qui est la superposition de toutes les couleurs). Certaines longueurs d'onde sont absorbées partiellement ou totalement par les particules de l'atmosphère (les molécules d'ozone absorbent une partie des ultra violet).

Il en résulte que la puissance disponible sur un mètre carré normal au rayonnement est de l'ordre de 1000 W par temps ensoleillé alors qu'elle est de l'ordre de 1350 W hors atmosphère.[4].

Ce rayonnement peut être distingué sous forme de 3 flux : global, direct, diffus.

1. **Le rayonnement solaire global** : est le rayonnement émis par le soleil incident sur une surface donnée.

2. **Le rayonnement direct** : est le rayonnement solaire incident sur un plan donné, et provenant d'un petit angle solide centré sur le disque solaire.

3. **Le rayonnement diffus** : est le rayonnement solaire global à l'exception du rayonnement direct. Il comprend la plus grande partie du rayonnement diffusé par l'atmosphère ainsi qu'une partie du rayonnement réfléchi par le sol, suivant l'inclinaison de la surface réceptrice [5].

1-2-3-La constante solaire C^* :

C'est la quantité d'énergie totale envoyée par le soleil à la limite de l'atmosphère terrestre sur une surface unité perpendiculaire au rayonnement solaire [6].

La variation de la constante solaire suit la relation suivante [7]:

$$C^* = C_o^{*-} + 0.033 \times (\csc 0.948 \times n) \quad (1-1)$$

C^* : La constante solaire.

C_o^{*-} =1353 W/m² est la valeur moyenne de la constante solaire actuellement retenue [5].

n : Le numéro du jour de l'année.

1-3-LE GISEMENT SOLAIRE EN ALGERIE :

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire [8].

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure 1-5 :

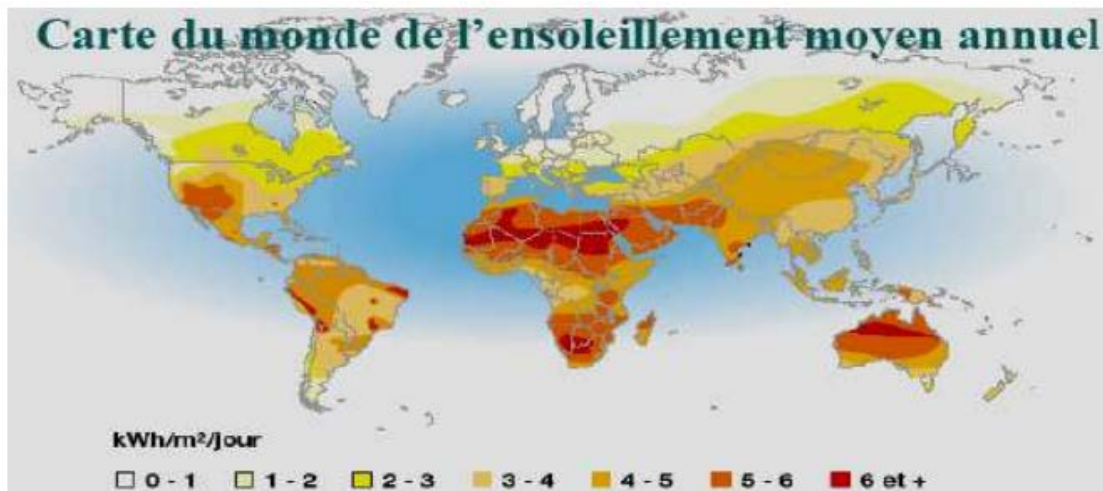


Figure 1-5- Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel [9]

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du

Chapitre 1: Généralités sur le captage et le stockage de l'énergie solaire.

territoire algérien est représentée dans le tableau 1.1 selon l'ensoleillement reçu annuellement [9]:

Tableau 1-1 : Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques.

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h /an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	2600

La durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de 3500h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8h/j et peut arriver jusqu'à 12h/j pendant l'été à l'exception de l'extrême sud où elle baisse jusqu'à 6h/j en période estivale [9].

La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie (figure 1-6).

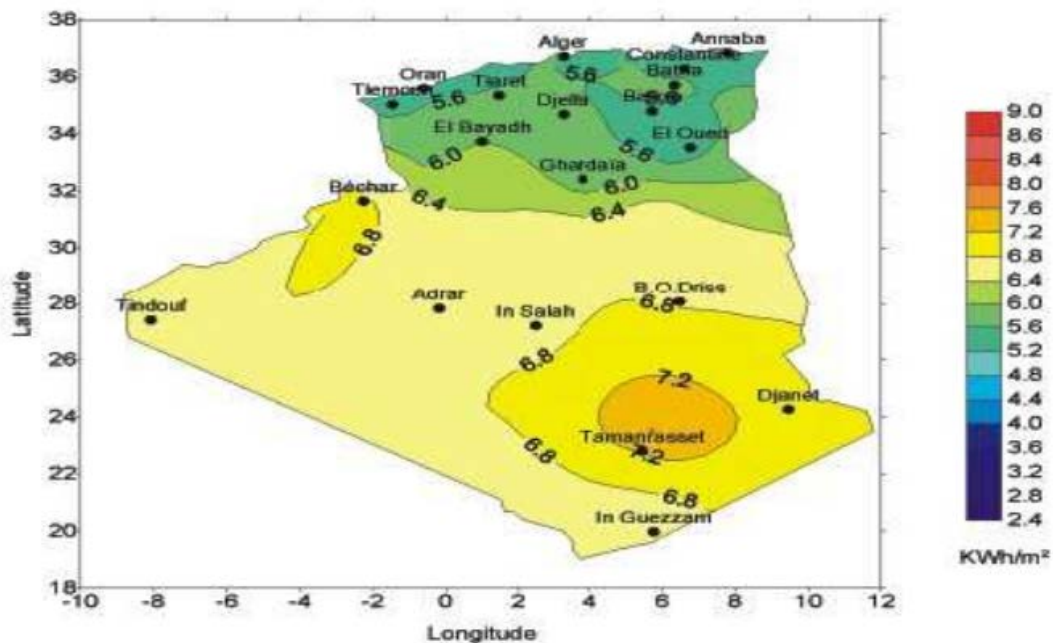


Figure 1-6 : Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu [10]

1-4-CALCUL DE LA POSITION DU SOLEIL.

1-4-1. Les paramètres de position.

1-4-1.a. Les coordonnées géographiques.

Tout point de la surface de la terre est repéré par ses coordonnées géographiques [11], [12], [13]:

- **La longitude (λ)** est l'angle entre le plan méridien passant par ce lieu avec la méridienne origine de Greenwich, elle varie de -180° à $+180^\circ$ de l'ouest à l'est.
- **La latitude (L)** est l'angle avec le plan équatorial que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu, elle varie entre $+90^\circ$ au pôle Nord et -90° au pôle Sud.
- **L'altitude (Z)** correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de référence, le géoïde, figurant le niveau moyen de la mer.

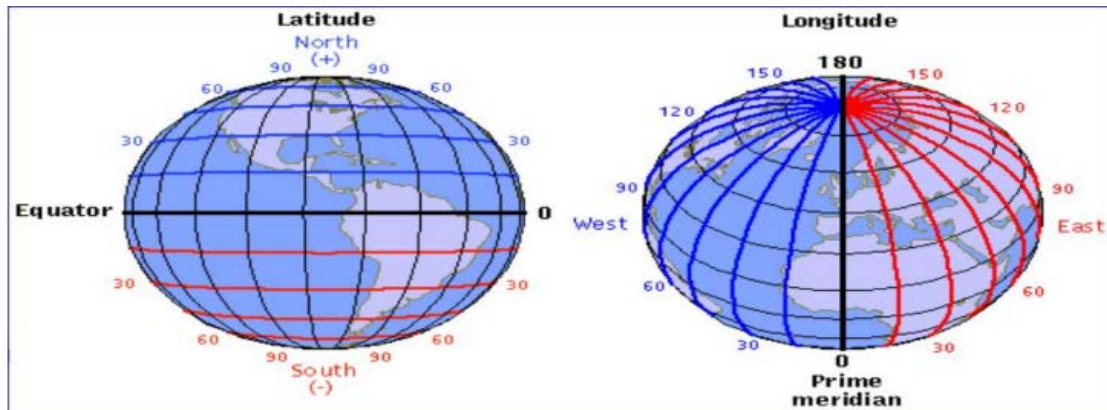


Figure 1-7: Schéma descriptive pour les angles latitude et longitude de la terre.[11]

1-4-1.b. Les coordonnées célestes horizontales :

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles qui sont [11], [13]:

- **L'azimut (a)** est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical

Passant par le soleil (figure 1-8). Il est donné par la relation suivante :

$$\sin(a) = \csc(d) \times \frac{\sin(\omega)}{\sin(h)} \quad (1-2)$$

- **La hauteur** du soleil (h) est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur un plan horizontal (figure 1-8), elle est donnée par la formule [11], [13]:

$$\sin(h) = \sin(l) \times \sin(d) + \sin(l) \times \csc(d) \times \csc(\omega) \quad (1-3)$$

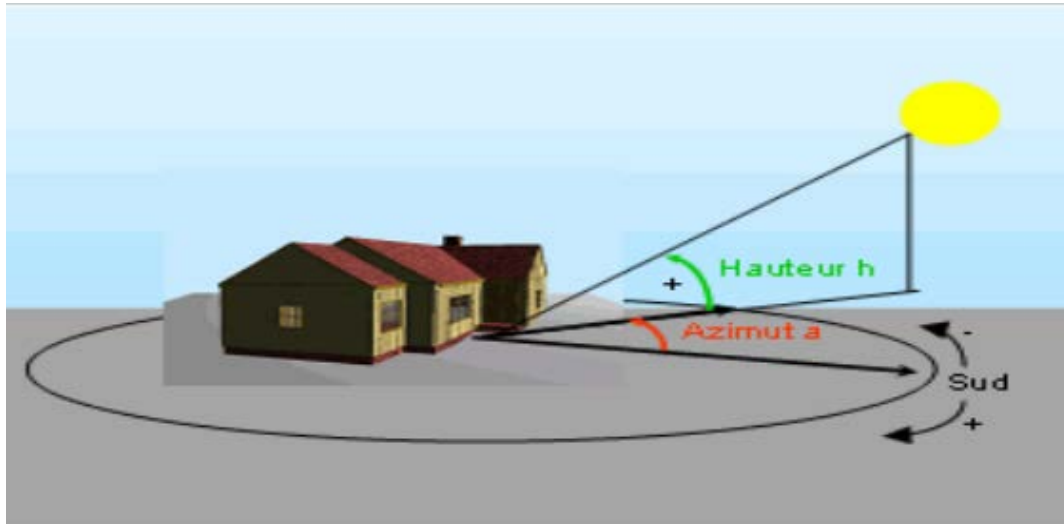


Figure 1-8 : Les coordonnées célestes horizontales [11]

1-4-1.c. Les coordonnées célestes horaires :

- **L'angle horaire (ω)** est l'arc de la trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu, il augmente de 15° par heure[14], [11],[15].
- **La déclinaison (d)** est l'angle entre le plan de l'équateur terrestre avec la direction terre-soleil. elle varie suivant l'équation de Cooper (figure 1-9)[7].

$$d = 23.45 \times \sin\left(\frac{360}{365} \times (n - 81)\right) \quad (1-4)$$

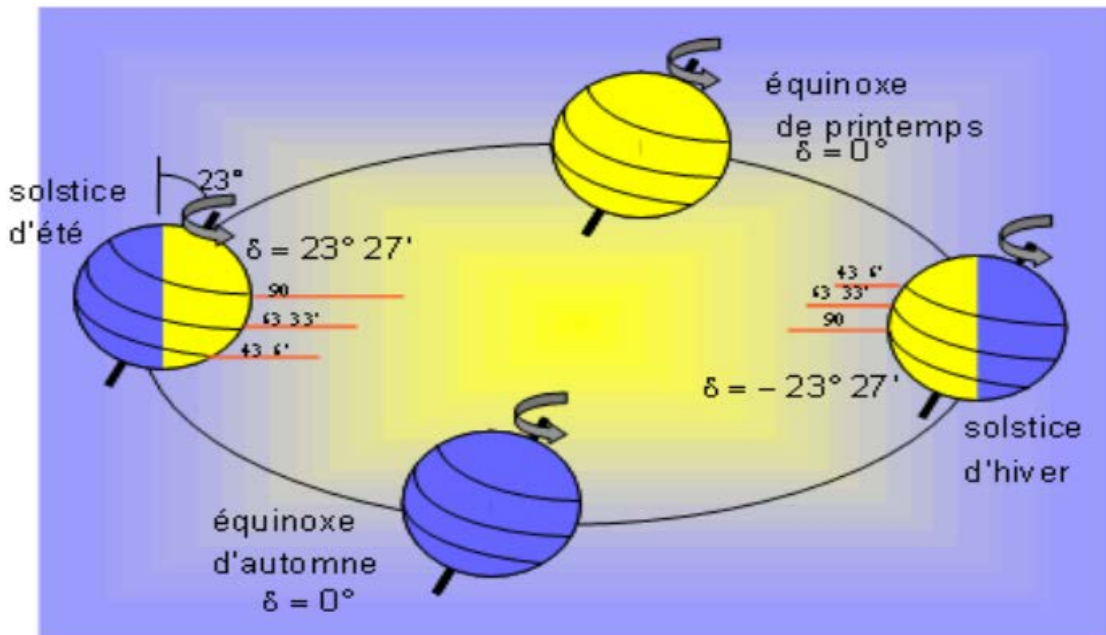


Figure 1-9 : Variation annuelle de la déclinaison solaire[7].

1-4-2. Les paramètres de temps : [14]

• Le temps solaire vrai (TSV) est l'angle horaire entre le plan méridien passant par le centre du soleil et le méridien du lieu considéré, il est donné par l'expression:

$$TSV = 12 + \frac{\omega}{12} \quad (1-5)$$

• Le temps solaire moyen (TSM) est donné par :

$$TSV - TSM = ET \quad (1-6)$$

ET est l'équation du temps qui corrige le TSV par rapport au TSM

$$ET = 0.87 \times \sin(2 \times N') - 7.53 \times \csc(N') - 1.5 \times \sin(N') \quad (1-7)$$

$$N' = (n - 81) \times \frac{360}{365} \quad (1-8)$$

• Le temps universel (TU) est le temps moyen de Greenwich

$$TU = TSM - \frac{\lambda}{15} \quad (1-9)$$

• Le temps légal (TL) est le temps officiel d'un état, il est donné par :

$$TL = TU + \Delta H \quad (1-10)$$

ΔH : Le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré.

1-5 -LES DIFFERENTS TYPES DE CAPTEURS SOLAIRES :

Avec l'énergie du soleil, on peut produire de l'eau chaude ou de l'électricité, mais à chaque fonction correspond un type de système et à chaque système une fonction.

Voyons ci-dessous, comment apprendre à savoir faire la différence et éviter la confusion entre un capteur thermique et un capteur photovoltaïque, et connaître les différents types de capteurs solaires thermiques... [16]

1-5-1-capteur solaire photovoltaïque :

Les panneaux solaires photovoltaïques fonctionnent grâce à des matériaux dits semi-conducteurs comme le silicium. Ces matériaux ont pour objectif d'absorber la lumière du soleil et de transformer celle-ci en énergie électrique. Cette transformation s'appelle l'effet photovoltaïque. Les photons de la lumière du soleil mettent les électrons (du silicium) en mouvement ce qui génère de l'électricité de manière continue.

Chapitre 1: Généralités sur le captage et le stockage de l'énergie solaire.

Les panneaux solaires photovoltaïques ne comprennent pas de pièces en métal. Les seuls composants de ce type d'installation sont les modules photovoltaïques. Ces pièces, en silicium, sont assemblées afin de former le panneau solaire. Il s'agit de cellules plates cristallines de 0,2 mm d'épaisseur. Chaque cellule plate génère une faible quantité d'électricité. Les assembler devient donc indispensable pour produire une quantité précise d'énergie.

Différents types de modules photovoltaïques existent actuellement. on distingue le **silicium multi cristallin**, le silicium en ruban ainsi que le silicium monocristallin. le silicium monocristallin produit un bon rendement (18%), mais demeure assez coûteux. d'autre part, le rendement diminue considérablement une fois la température en hausse , quant au **silicium multi cristallin**, son rendement est plus ou moins faible (15%), mais son prix reste abordable. le silicium à ruban propose un rendement identique au multi cristallin. Mais à part les modules photovoltaïques, les panneaux solaires photovoltaïques ont également besoin d'être reliés à un dispositif électrique comprenant un régulateur, une batterie et un onduleur. l'onduleur aura pour fonction de transformer l'électricité continue générée par les panneaux solaires en énergie alternative. ce courant alternatif sera soit directement utilisé, soit conservé dans une batterie qui sera régulièrement contrôlée par le régulateur.

Généralement, l'onduleur sera directement relié à un compteur, dont le but consistera à mesurer la quantité d'électricité qui sera distribuée dans l'édifice. Dans d'autres circonstances, lorsque le rendement reste faible, il est possible de relier la batterie à un groupe électrogène afin de stabiliser la production électrique. Ce type de panneaux présente de multiples avantages. D'une part, les composants des panneaux solaires photovoltaïques sont recyclables et peuvent facilement être récupérés (verre, silicium...). sur le plan écologique, l'usage des déchets de silicium issus des industries de fabrication réduit le coût de l'achat de ce matériau semi-conducteur .



Figure 1-10 :Capteur solaire photovoltaïque

1-5-2-1-Capteur solaire thermique :

L'énergie solaire thermique désigne la transformation d'un rayonnement lumineux en chaleur. C'est cette même énergie qui permet le développement de la vie sur Terre, grâce au réchauffement de l'atmosphère et à la photosynthèse. A l'origine utilisée pour allumer des feux sacrés, cette énergie pourrait être une des solutions aux enjeux énergétiques de notre siècle.

a) -Les capteurs plans :

Le capteur plan reste la technologie la plus simple et la plus utilisée. On retrouve deux types de capteurs plans: avec vitrage et sans vitrage.

- **Le capteur plan vitré :** est constitué d'une caisse isolée couverte par un vitrage. A l'intérieur, on retrouve l'absorbeur dans lequel circule le fluide caloporteur. Le vitrage bloque le rayonnement infrarouge et isole la lame d'air au dessus de l'absorbeur pour garde la chaleur.

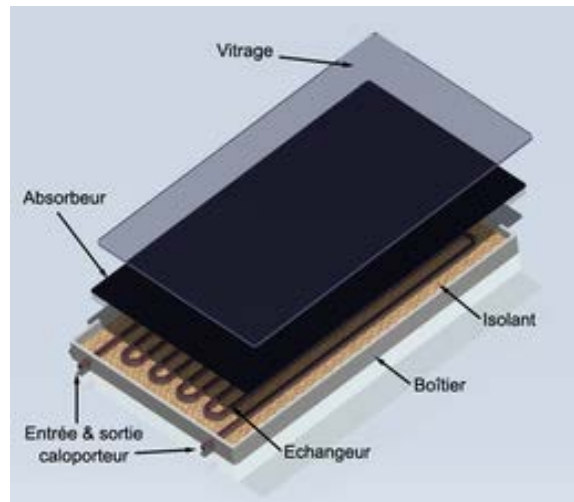


Figure 1-11 :Capteur solaire plan vitré[18]

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

- **Le capteur plan non vitré** est moins répandu, il est seulement constitué d'un absorbeur dans lequel circule le fluide caloporteur. Très dépendant de la température extérieure, il est en général utilisé en été pour chauffer l'eau des piscines.



Figure 1-12:capteur solaire non vitre[18]

b)-Les collecteurs à tubes sous vide :

Le capteur à tubes sous vide : fonctionne aussi bien en été qu'en hiver. Il est constitué d'une série de tubes transparents sous vide qui isolent la chaleur de l'absorbeur. Ce type de capteur permet d'atteindre des températures plus élevées et cela plus rapidement.

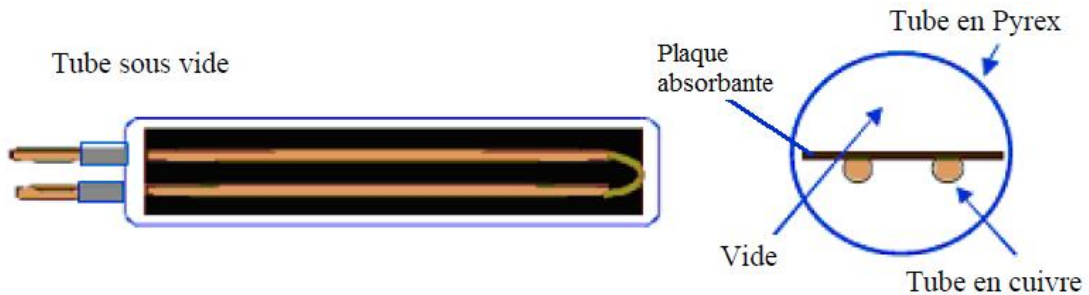


Figure 1-13 : capteur à tubes sous vide [18]

Avantages des tubes sous vide:

- température de fonctionnement plus élevée;
- déperdition de chaleur réduite.

Inconvénients des tubes sous vides:

- contraintes thermiques sur les matériaux importantes;
- coûts plus élevés.

➤ Il existe différents types de collecteurs à tubes sous vides:

• **à flux direct**: dans ce type de capteur, le fluide caloporteur circule à l'intérieur de l'absorbeur, permettant ainsi un rendement élevé. [19]



Figure 1-14 : capteur à tubes sous vide à flux direct [19]

Chapitre 1: Généralités sur le captage et le stockage de l'énergie solaire.

- **à caloduc:** dans les tubes sous vide à caloduc, l'absorbeur contient un liquide vaporisé sous vide partiel. Cette vapeur chauffée se condense dans un condenseur et retourne sous forme liquide dans l'absorbeur. Le condenseur, lui s'occupe de transférer la chaleur au fluide caloporteur. Ce système nécessite une inclinaison minimale du tube absorbeur.[20]

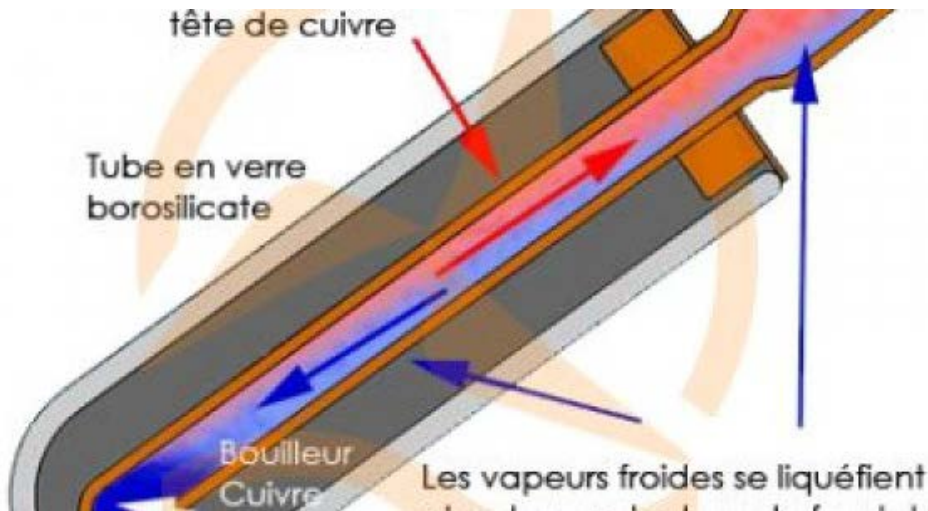


Figure 1-15 : capteur à tubes sous vide à flux direct à caloduc [19]

- **de type "Sydney" / CPC:** le tube "Sydney" se caractérise par un tube de verre à double paroi pour éviter une perte du vide. La surface absorbant est située sur le tube de verre intérieur. L'arrondi du tube nécessite l'utilisation d'un réflecteur pour utiliser toute la surface de l'absorbeur, d'où son appellation de tube CPC (Concentrateur parabolique composé). [19]

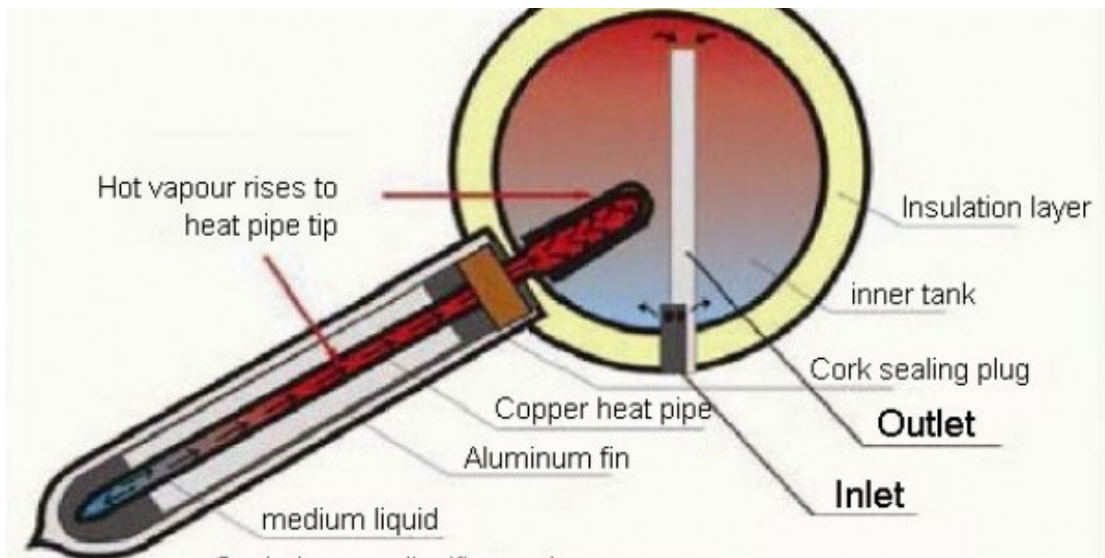


Figure 1-16 : capteur à tubes sous vide à flux direct à caloduc de type "Sydney" / CPC[19]

c- Les capteurs à concentration : [20]

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.

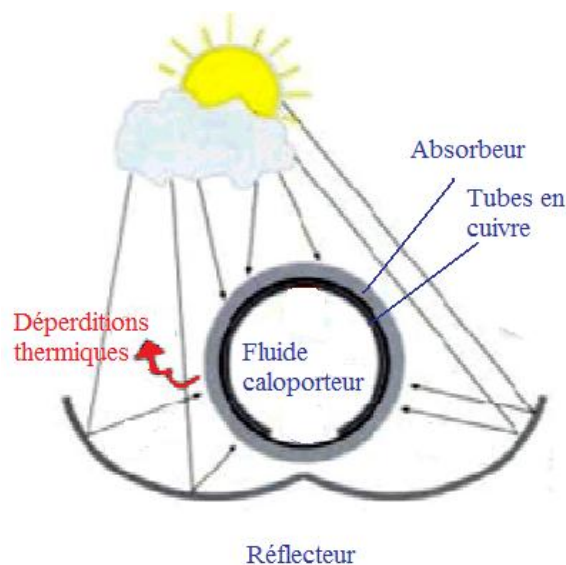


Figure 1-17: Schéma de Capteur concentration [20]



Figure 1-18: Capteur concentration [20]

1-5-2-2-Centrales solaires thermodynamiques :[21]

1- Fonctionnement des centrales solaires thermodynamiques

Les centrales solaires thermodynamiques recouvrent l'ensemble des techniques qui visent à transformer l'énergie radiative du soleil en chaleur à température élevée, puis à convertir cette chaleur en énergie mécanique et électrique au moyen d'un cycle thermodynamique couplé à une génératrice électrique (Ferrière, TI BE 8903). Les centrales thermodynamiques se basent sur deux modes de fonctionnement : à génération directe ou indirecte de l'électricité. Dans le cas de la génération directe, le fluide qui circule dans le champ solaire est le même que celui qui actionne la turbine. Dans le cas de la génération indirecte, le fluide caloporteur circulant dans le champ solaire réchauffe un fluide de travail qui alimente la turbine.

Ce transfert de chaleur se fait par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur. Un schéma simplifié de centrale solaire thermodynamique à génération indirecte d'électricité est présenté sur la Figure 1-19.

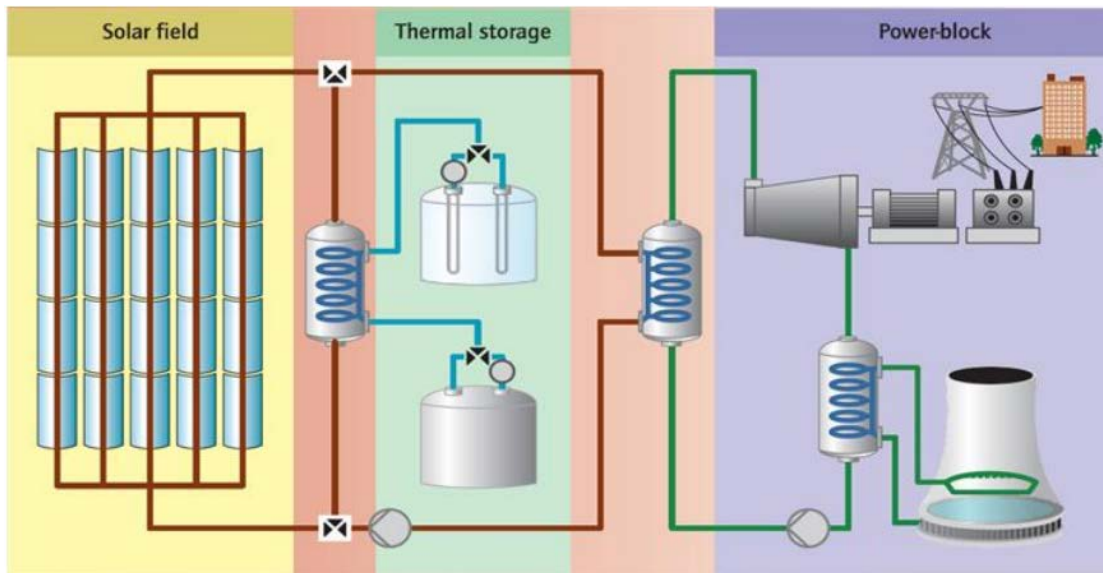


Figure 1-19 : Schéma de principe d'une centrale solaire thermodynamique à génération indirecte [21]

Une centrale solaire thermodynamique est généralement composée de trois blocs (cf. Figure 1-19) :

Le premier bloc est un système de captation solaire constitué d'un réflecteur/concentrateur, communément appelé champ solaire. Il capte les radiations solaires directes et les concentre sur un récepteur dans lequel s'écoule un fluide caloporteur. Durant cette étape, le rayonnement solaire est converti en puissance thermique ;

Le second bloc est un système de stockage et de restitution d'énergie thermique qui permet de décaler la production d'électricité de la ressource solaire et de pallier ainsi à son intermittence

Le troisième bloc est un système de conversion thermodynamique composé de deux éléments : l'élément principal est une turbine qui transforme l'énergie thermique du fluide de travail en énergie mécanique. La turbine couplée à un générateur électrique transforme l'énergie mécanique en électricité. L'électricité ainsi produite peut être injectée sur le réseau électrique de transport et de distribution.

2-Les différentes technologies de centrales solaires thermodynamiques

Trois sous-ensembles sont nécessaires pour produire de l'électricité grâce aux radiations solaires : la captation du flux solaire, le stockage de l'énergie thermique et la conversion thermodynamique. Pour chacun d'eux, différentes technologies ont été développées à l'échelle industrielle. Un rapide aperçu de ces technologies est présenté ci-dessous.

2.1. Captation du flux solaire [21]

Pour produire de l'électricité, seul le rayonnement solaire direct est exploitable car le rayonnement diffus ne peut pas être focalisé. Les centrales solaires thermodynamiques ne peuvent donc fonctionner que lorsque le ciel est clair et sec. La Figure 1-20 présente quatre technologies de récepteurs, fixes ou mobiles, linéaires ou ponctuels qui concentrent plus ou moins les rayons incidents. L'unité utilisée pour quantifier la concentration des rayons incidents est le soleil (rapport de la surface collectrice des miroirs sur la surface du récepteur).

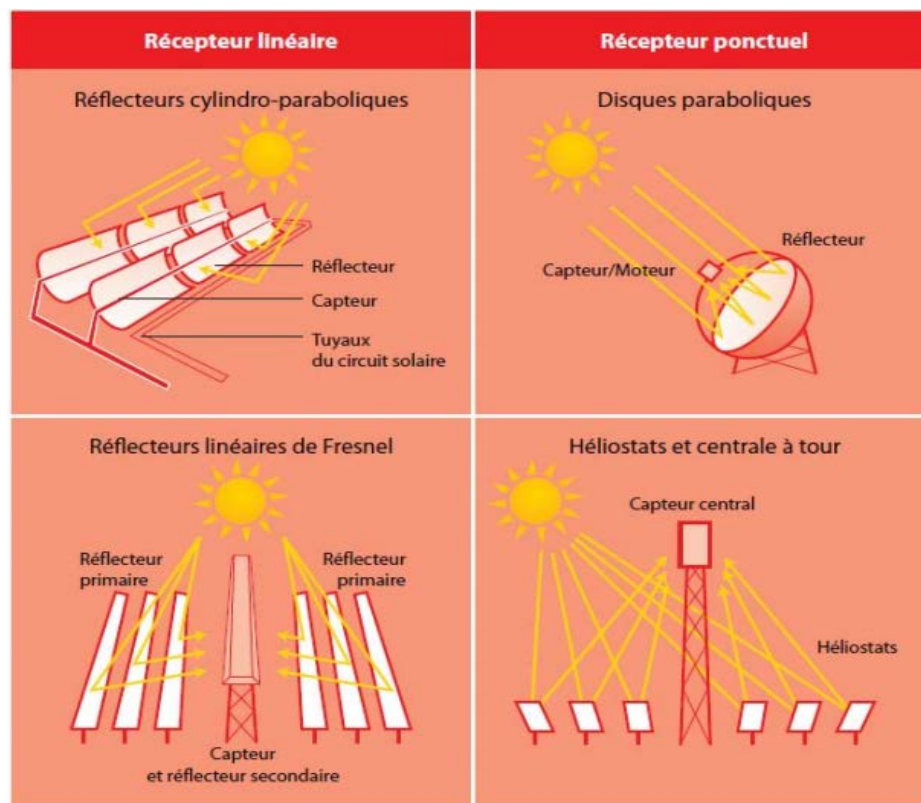


Figure 1-20: Description schématique des différentes technologies de récepteurs solaires [21]

2-1- A-Réflecteurs cylindro-paraboliques [21]

C'est la technologie la plus éprouvée (74% des centrales solaires thermodynamiques). Les réflecteurs suivent la course du soleil et concentrent le flux solaire sur des tubes horizontaux fixés aux récepteurs. Un fluide caloporteur circule dans les tubes. Les températures pouvant être atteintes avec ce type de capteur sont comprises entre 270 et 450°C (Ferrière, TI BE 8903).

2-1-b-Réflecteurs linéaires de Fresnel [21]

Les réflecteurs Fresnel utilisent des miroirs plans pour concentrer le flux solaire sur un tube (9% des centrales solaires thermodynamiques). La forme parabolique du collecteur est reproduite par une succession de miroirs plans, moins coûteux que les miroirs paraboliques. Chaque rangée de miroir peut pivoter et suivre la course du soleil. Comme précédemment, un fluide caloporteur circule dans le tube et les températures pouvant être atteintes avec ce type de capteur sont comprises entre 270 et 450°C (Ferrière, TI BE 8903).

2-1-c-Héliostats et tours à concentrations

Les héliostats sont des réflecteurs dotés d'un système de suivi du soleil sur deux axes, les rayons solaires sont ensuite concentrés en haut d'une tour fixe (15% des centrales solaires thermodynamiques). Les températures pouvant être atteintes dans l'absorbeur en haut de la tour sont de l'ordre de 450 à 1000°C (Ferrière, TI BE 8903).

2-1-d-Miroirs paraboliques

Ces miroirs suivent la course du soleil selon deux axes et concentrent le flux solaire en un point focal (2% des centrales solaires thermodynamiques). Chaque coupole fonctionne de façon autonome et s'oriente automatiquement. Au point focal, une enceinte fermée remplie de gaz reçoit les rayons concentrés.

L'échauffement du gaz entraîne un moteur de type Stirling. Les températures pouvant être atteintes au point focal sont de l'ordre de 600 à 1200°C (Ferrière, TI BE 8903).

Les deux premières technologies de réflecteurs, cylindro-paraboliques et linéaires de Fresnel, permettent d'atteindre des facteurs de concentration jusqu'à 100 soleils et donc des températures d'environ 450°C.

L'intérêt d'utiliser ces réflecteurs est la flexibilité du système qu'ils apportent par rapport aux capteurs ponctuels. Les capteurs ponctuels permettent quant à eux

d'atteindre des facteurs de concentration de 200 à 1000 soleils et donc des températures de 500 à 1000°C.

1-6-STOCKAGE D'ENERGIE :

Un des grands problèmes avec l'énergie, c'est le transport dans le temps ou l'espace.

C'est particulièrement vrai avec les énergies renouvelables qui dépendent du climat et varient énormément dans le temps [21].

L'énergie solaire et ses dérivés (vent, chute d'eau, etc.) n'est pas disponible à la demande, il est donc nécessaire de compenser, en disposant d'un stockage suffisant, auprès du consommateur, du producteur, ou à travers un réseau d'échange (similaire à l'ancien réseau de distribution).

Le stockage consiste à constituer un stock d'énergie à partir de flux d'énergie dont on n'a pas l'usage immédiat, afin de pouvoir en disposer plus tard, lorsque la demande sera plus importante.

1-6-1-Le choix des technologies de stockage :

Pour comparer les technologies de stockage et déterminer les plus pertinentes pour un usage particulier, plusieurs facteurs techniques doivent être pris en compte:

La puissance disponible (en MW) et la capacité énergétique (en Mwh). La combinaison de ces deux critères permet de définir le ratio énergie/puissance correspondant au temps de décharge réalisable, souvent caractéristique d'une application particulière.

Le temps de réaction est un indicateur de la réactivité du moyen de stockage. Il est parfois préférable de définir la vitesse de montée et de descente en charge qui caractérise de manière plus fine le comportement réactif du système.

L'efficacité, définie comme rapport entre l'énergie stockée et l'énergie restituée (en Mwhout/Mwhin).

La durée de vie, qu'il est parfois préférable de définir en nombre de cycles de charge/décharge admissibles pour des technologies comme les batteries.

Pour d'autres usages, d'autres critères sont à prendre en compte, comme la densité énergétique (en MWh/kg ou en MWh/m³) pour la mobilité par exemple [21].

1-6-2-Comment stocker de l'énergie :

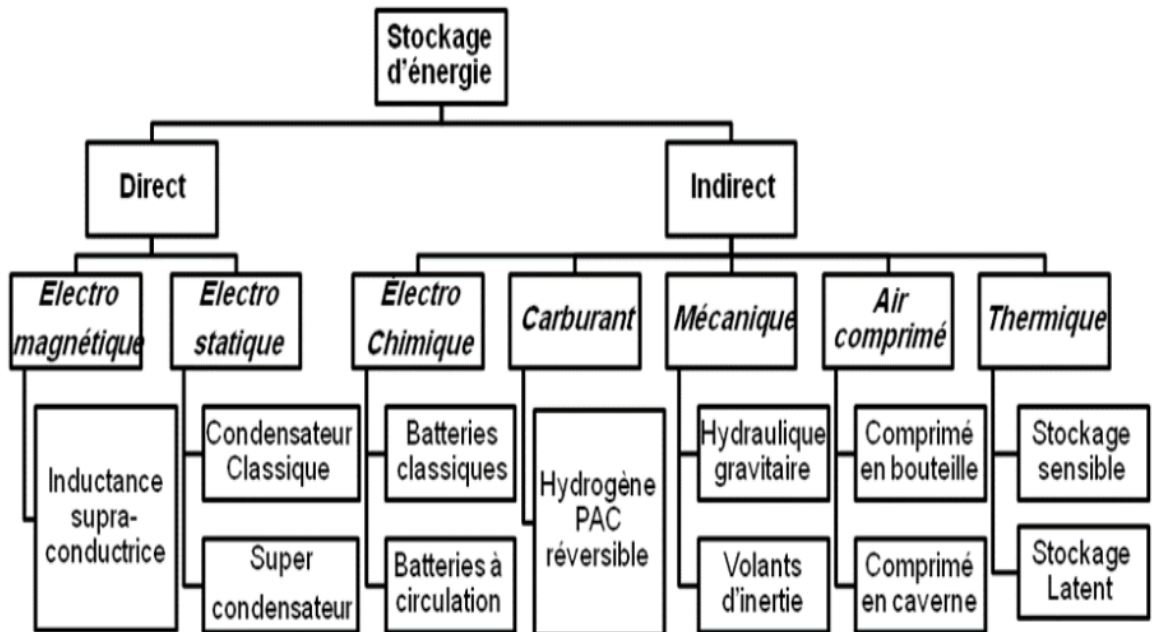


Figure 1-21 : Vue de l'ensemble des moyens de stockage d'énergie [1]

1-6-2-1-Stockage mécanique :

Les voies les plus connues de stockage à grande échelle. Stockage gravitaire par pompage(STEP) stockage par air comprimé (CAES), Elle inclut aussi les volants d'inertie, les accumulateurs hydrauliques, et plus généralement tout type de stockage d'énergie potentielle ou cinétique.

1-6-2-2 Stockage électrochimique :

Ce mode de stockage, dont le principe repose sur la conversion de l'énergie chimique en énergie électrique, concerne principalement les batteries (raccourci pour "batterie d'accumulateurs " en série), piles et accumulateurs.

Les batteries utilisées comme réserve massive d'énergie peuvent délivrer une puissance pendant quelques heures ou sur plusieurs jours et résister à un certain nombre de cycles de charge/décharge. Leur utilisation se situe plutôt à l'échelle d'un bâtiment ou d'une petite collectivité où elles permettent d'optimiser la gestion de sources d'énergie renouvelables, solaire ou éolienne (ou autre), notamment pour le lissage de la charge journalière en stationnaire. Quelques batteries au plomb peuvent répondre à ce besoin, de même que des batteries au sodium ou lithium-ion, mais ce sont surtout les batteries à flux qui font l'objet d'études pour le stockage massif à ce jour.

En effet, la notion de durée de vie liée au nombre de cycles de charge/décharge entre en ligne de compte pour l'utilisation des batteries en stationnaire : les batteries à flux peuvent revendiquer plus de 10 000 cycles, contre quelques centaines pour les batteries au plomb, voire quelques milliers pour les nouvelles batteries sodium (NaS et Zebra). Les systèmes de stockage électrochimique sont généralement composés d'un ensemble de batteries qui cumule la puissance de chaque unité ; leur attractivité repose sur leur flexibilité et leur réactivité. [21]

1-6-2-3-Stockage Thermique:

Au moment où l'on parle de plus en plus d'environnement et de rationalisation de l'exploitation des ressources énergétiques, le stockage de l'énergie thermique se présente comme une solution particulièrement intéressante puisqu'il permet de dissocier l'utilisation de la production de l'énergie [22].

Essentiellement trois modes de stockage thermique peuvent être envisagés:

Le stockage par chaleur sensible qui exploite la capacité calorifique d'un matériau.

Le stockage par chaleur latente qui consiste à utiliser la transformation solide – liquide d'un Matériau à Changement de Phase (MCP).

Le stockage thermo-chimique qui exploite la chaleur de sorption mise en œuvre dans des processus physico-chimiques renversables d'absorption exothermique et de désorption endothermique d'un gaz sur un milieu absorbant.

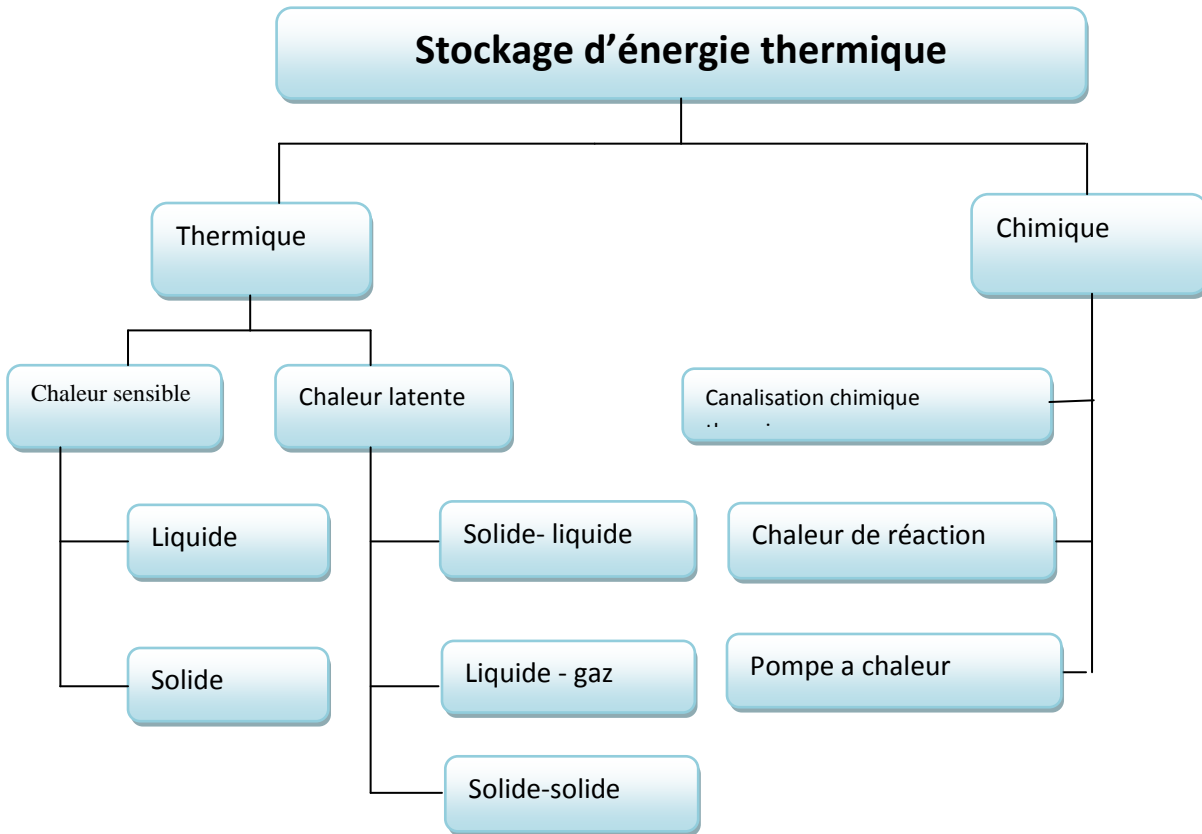


Figure1-22: Principales techniques de stockage de l'énergie thermique

1-6-2-3-1-Stockage thermochimique [1]

Le stockage thermochimique s'appuie sur un mécanisme physico-chimique réversible :



Le matériau AB absorbe de la chaleur ce qui engendre l'apparition des deux composants A et B, distincts, pouvant être stockés séparément. Ce phénomène endothermique est appelé la charge, phase de stockage de chaleur. Inversement, la mise en contact des composants A et B provoque la formation d'un composant AB et la libération de chaleur.

Ce phénomène exothermique correspond à la décharge, phase de restitution de chaleur.

Chaque système faisant appel au stockage thermochimique possède un cycle de fonctionnement s'articulant en ces deux étapes de charge et de décharge.

1-6-2-3-2-Stockage d'énergie Thermique: [1]

De nombreuses solutions de stockage de froid (glace, liquides cryogéniques) et de chaud (sels fondus, accumulateurs de vapeur, graviers ou billes à changement de phase...) existent et permettent de stocker l'énergie sous forme thermique (chaleur latente, chaleur sensible) avant de la restituer, le plus souvent directement sous forme de chaleur ou de froid, mais aussi parfois sous forme électrique.

Les sources de chaleur proviennent en premier lieu du solaire pour lequel le stockage permettrait de réduire les effets de son intermittence et du décalage entre les périodes les plus productives (le jour/l'été) par rapport aux périodes de plus grandes demandes (le soir/l'hiver).

Il est également possible de stocker la chaleur produite par certaines industries en corollaire de leur activité principale (centrales à gaz ou d'incinération par exemple).

Tout matériau possède la capacité de libérer ou de stocker de la chaleur via un transfert thermique ; ce transfert peut être par chaleur sensible, c'est-à-dire par changement de la température du matériau — la chaleur est alors emmagasinée dans le matériau —, ou par chaleur latente, c'est-à-dire par changement de phase du matériau, généralement changement

solide/liquide d'un matériau pour lequel la variation volumique est faible.

a)-Stockage thermique par la chaleur sensible

A pression constante, si l'on réchauffe un corps (généralement liquide ou solide) de masse m et de capacité thermique massique $C_p(T)$ de la température initiale T_1 à la température T_2 on peut stocker une énergie donnée par sa variation d'enthalpie :

$$H_2 - H_1 = Q = \int_{T_1}^{T_2} m \cdot C_p(T) \cdot dT \quad (1-12)$$

En supposant $C_p(T) = \text{cste}$ on obtient la relation suivante :

$$Q = m \cdot C_p(T) \cdot (T_2 - T_1) \quad (1-13)$$

Avec

Q stockée : la chaleur sensible (J),

m : la masse du matériau de stockage (kg)

C_p : la chaleur massique du matériau ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

ΔT : la différence entre températures moyennes finale et initiale (K).

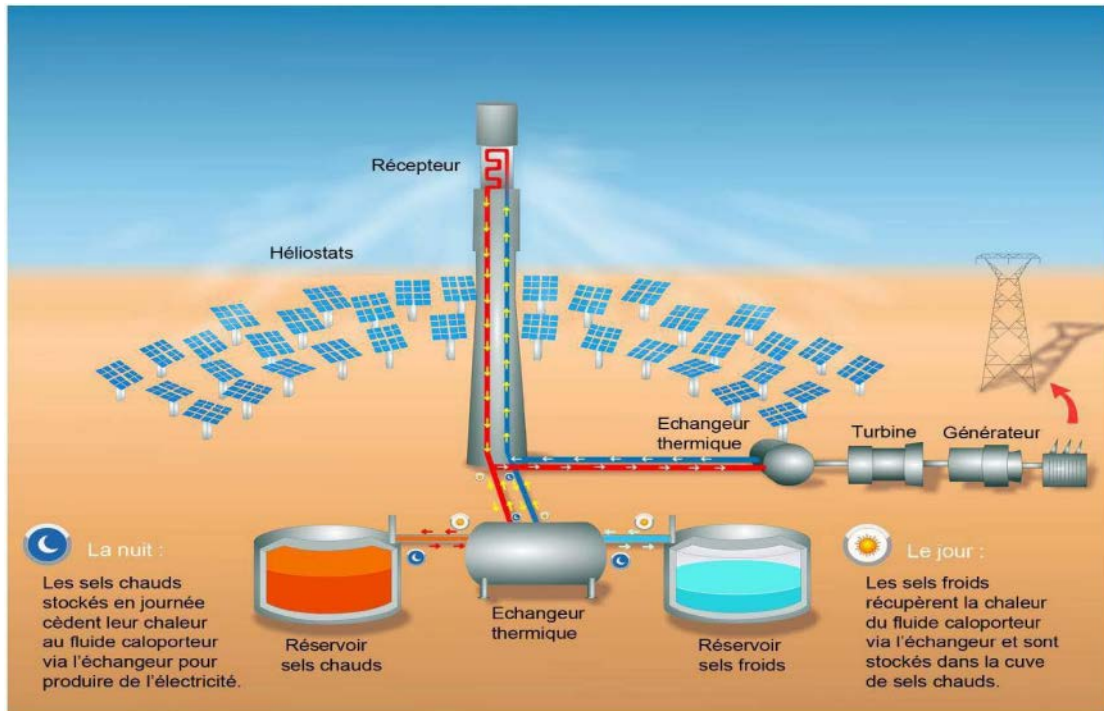


Figure1-23 : Station de stockage d'énergie thermique par la chaleur sensible [1]

b-Stockage thermique par la Chaleur latente

Supposons que ce corps soit à T_1 un solide pur, de masse m ayant une température de fusion T_f telle que $T_1 < T_f < T_2$. L'énergie stockée serait donnée, à pression constante, par la variation d'enthalpie suivante :

$$H_2 - H_1 = \int_{T_1}^{T_f} m \cdot C_{p_s}(T) \cdot dT + mL + \int_{T_f}^{T_2} m \cdot C_{p_l}(T) \cdot dT \quad (1-14)$$

Avec $C_{p_s}(T)$ et $C_{p_l}(T)$: Capacités thermiques massiques respectivement solide et liquide du corps considéré (J/kgK), L est la chaleur latente de fusion.

En supposant $C_{p_s}(T)$ et $C_{p_l}(T)$ sont constantes nous obtenons :

$$H_2 - H_1 = Q = m \cdot C_{p_s} \cdot (T_f - T_1) + mL + m \cdot C_{p_l} \cdot (T_2 - T_f) \quad (1-15)$$

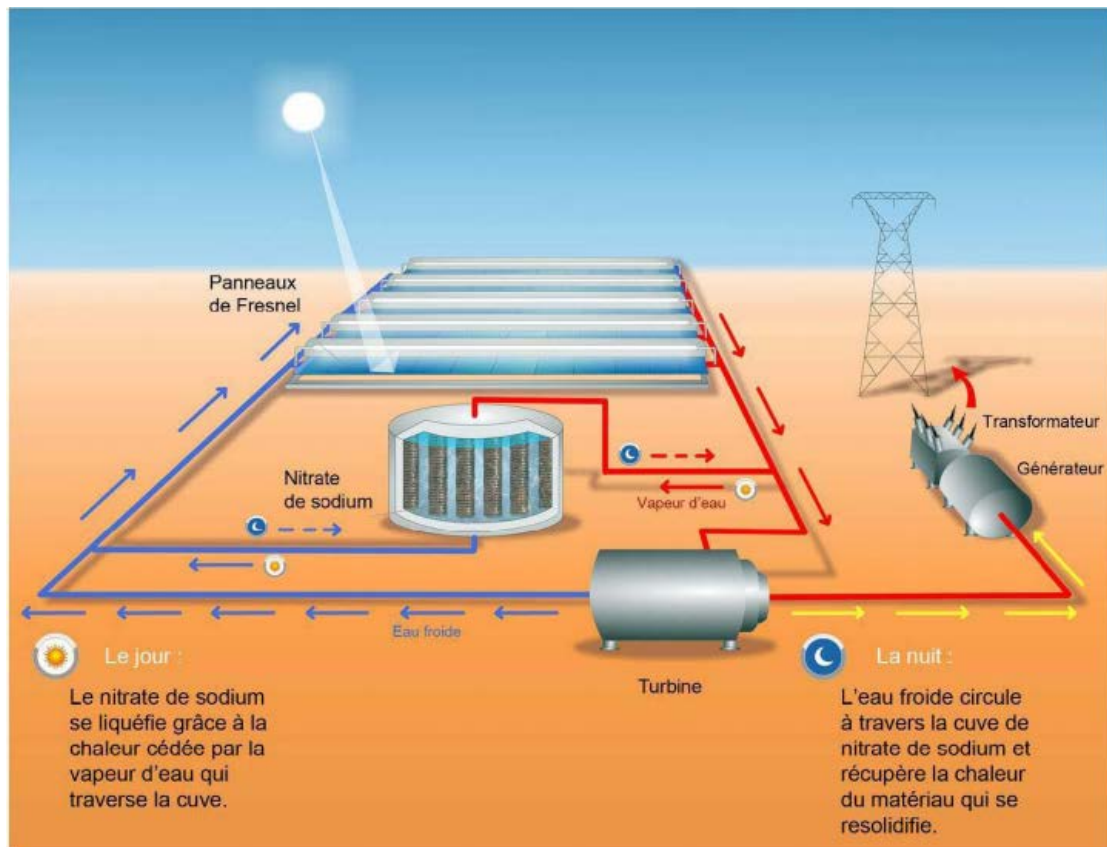


Figure1-24 : station de stockage de l'énergie par la chaleur latente[1]

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons exposé un petit rappel sur les notions thermiques; également nous avons parlé sur les chauffe-eaux solaires conventionnels, et enfin nous sommes concentrés sur les chauffe-eau solaires de type capteur-stockeur avec la présentation de quelque modèle.

CHAPITRE 2:

Généralités sur les chauffe -eaux solaires

Introduction

Le chauffe-eau solaire offre la possibilité de produire de l'eau chaude à partir de l'énergie solaire, les températures pouvant atteindre les 120°C et le rendement de conversion est élevé généralement.

En exploitant le rayonnement solaire direct, considéré comme la ressource principale, qui est très considérable à l'échelle planétaire, ces technologies offrent une véritable alternative à la consommation des ressources fossiles avec un faible impact environnemental et un fort potentiel de réduction des coûts ainsi que la possibilité de l'hybridation de ces installations.

2.1 LES PHENOMENES PHYSIQUES MIS EN JEU

Le chauffe-eau solaire est une unité de production d'eau chaude à partir du rayonnement solaire. Ce système se compose d'un capteur clair, généralement placé sur les toitures, qui capte l'énergie solaire pour élever la température de l'eau à l'entrée dans une tubulure et d'un réservoir permettant de stocker l'eau chaude. Son fonctionnement repose sur le principe de l'effet de serre. L'échange thermique est un transfert d'énergie sous forme microscopique désordonnée. Il intervient lorsque deux corps sont à des températures différentes, Il existe trois modes de transfert de chaleur : la conduction, la convection et le rayonnement.

2.2 LE CAPTEUR

De constitution simple, le capteur est l'élément par l'intermédiaire duquel le rayonnement solaire est piégé. Cette énergie est ensuite transmise au fluide caloporteur (ici l'eau).

2.2.1 Le principe de fonctionnement

Le capteur solaire est constitué généralement d'un cadre, d'une tôle inférieure peinte en noire mate (absorbeur), d'une tubulaire (serpentin), d'une isolation, d'un couvercle transparent (vitrage). Le rayonnement solaire est transmis par le vitrage à l'absorbeur qui s'échauffe et rayonne à son tour sous de grandes longueurs d'ondes. Ces dernières émissions emprisonnées par le vitrage contribuent à l'échauffement de l'absorbeur. Ainsi cette chaleur est transmise, par le biais du serpentin, à l'eau qui transporte la chaleur vers le réservoir de stockage.

2.2.2 Le choix d'un modèle de capteur

Compte tenu de nos besoins (alimentation en eau chaude sanitaire) et de. Caractéristiques de différent: capteur existants, notre choix porte sur le capteur plan vitré. La figure ci-après nous donne une idée générale de sa constitution.

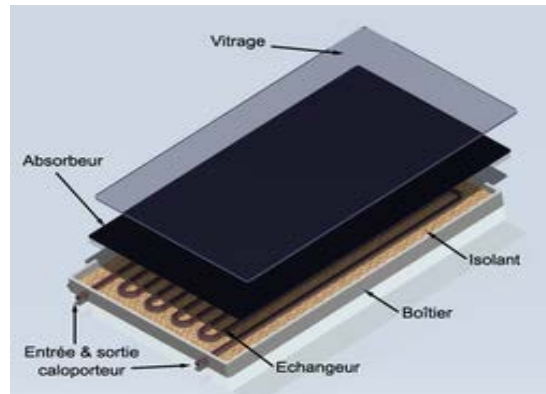


Figure 2-1: Modèle de capteur plan vitré

2.3 LE RESERVOIR ET LES CANALISATIONS

On distingue deux modes de production d'eau chaude: la production instantanée et la production par accumulation. La première peu fréquente et très coûteuse, nous choisissons la seconde méthode qui consiste à produire et à stocker l'eau chaude. Et donc pour le convoyement et le stockage. Le réservoir et les canalisations devront répondre à certaines exigences que nous tenterons de résumer dans les paragraphes suivants.

2.3.1 Le réservoir

Le réservoir doit subvenir aux besoins journaliers de l'habitation en choisissant la température d'entrée pour l'utilisation désirée en terme de quantité souhaitée. Il est à noter cependant que la température de stockage est différente de celle d'utilisation du fait des pertes occasionnées selon le type de montage. Il devra en outre résister à la pression du liquide ne dépassant pas les 2 bars [23].

2.3.2 Les canalisations

Pour la circulation de l'eau entre l'isolateur, le réservoir et le point d'utilisation, on a les canalisations qui sont le siège des pertes de chaleur. Pour vaincre ces déperditions thermiques, on a besoin d'un bon calorifugeage du circuit de canalisation. Cette dernière tient compte du type de circulation (naturelle par

thermosiphon ou forcée par une pompe), de la longueur de circuit et des températures désirées.

2.4 BILAN THERMIQUE

2.4.1 Mécanisme de pertes :

L'ensemble des pertes est résumé par la figure 2-2.

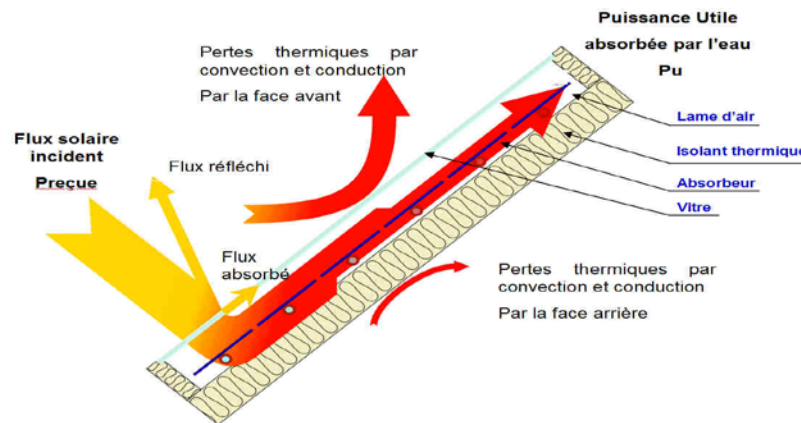


Figure 2-2: Mécanisme des pertes

2.4.1.1 Les pertes thermiques d'un capteur

Le capteur solaire est un bilan énergétique qui fait intervenir des pertes par rayonnement, convection et conduction. La connaissance de ces phénomènes est donc nécessaire pour établir, prévoir ou améliorer le bilan thermique.

Les applications de mise en forme et l'amélioration des qualités d'un capteur solaire, nécessitent la prédiction des pertes thermiques au sein de ce dernier; la détermination des pertes tient compte à son tour des différents échanges thermiques existants.

$$Q_{pert} = Q_{CD} + Q_{CV} + Q_{Ray} \quad (2.1)$$

• 2.4.1.2 Pertes Par Conduction

Les pertes par conduction sont habituellement petites comparées à ceux par convection et par rayonnement. Elles sont souvent combinées avec le terme de perte de convection dans la plu part des analyses.

$$Q_{CD} = \lambda_{CD} \cdot A_{abs} (T_{CD} - T_{amb}) \quad (2.2)$$

• 2.4.1.3 Pertes Par Convection

La mauvaise connaissance du phénomène de la convection est encore posée pour une plaque plane. Elle est dépendante de la vitesse du vent et sa direction par rapport au site. Ces pertes sont proportionnelles à la surface de l'absorbeur et la différence entre la température de surface captatrice et la température ambiante donnée par la formule :

$$Q_{CV} = h_{CV} \cdot A_{abs} (T_{CD} - T_{amb}) \quad (2.3)$$

Le coefficient de transfert de chaleur par convection est donné par la formule

Suivante :

$$h_{CV} = \frac{Nu \cdot \lambda_{CD}}{d} \quad (2.4)$$

d: Diamètre du capteur

λ_{CD} : Conductivité thermique du tube en cuivre

Le nombre du Nusselt Nu est donné par :

$$Nu = 0,664 \cdot (Re)^{1/2} \cdot (Pr)^{1/3} \quad (2.5)$$

Le calcul du nombre de Reynolds(Re) est représenté par la formule :

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu_{air}} \quad (2.6)$$

2.4.1.4 Pertes par Rayonnement :

Les pertes de chaleur par rayonnement sont importantes pour les récepteurs fonctionnant seulement aux températures légèrement au-dessus de la température ambiante, et devient dominante pour des collecteurs fonctionnant à températures élevées. Le taux de perte de chaleur de rayonnement est proportionnel à l'émission de la surface et à la différence dans la température à la puissance quatre. L'équation décrite sous la forme, nous avons:

$$Q_{Ray} = \xi_{abs} \cdot \sigma \cdot A_{abs} \cdot (T_{abs}^4 - T_{ciel}^4) \quad (2.7)$$

Où: ξ_{abs} : Facteur émissivité de l'absorbeur.

σ : Constante Stefan-Boltzmann.

T_{ciel} : Température du ciel.

Cependant, les auteurs s'accordent à dire que les pertes latérales et arrières restent négligeables devant les pertes thermiques face avant du capteur qui demeurent les plus importantes ; on appelle face avant, la partie du capteur orientée vers le ciel entre l'absorbeur et l'extérieur.

Cependant, les auteurs s'accordent à dire que les pertes latérales et arrières restent négligeables devant les pertes thermiques face avant du capteur qui demeurent les plus importantes; on appelle face avant, la partie du capteur orientée vers le ciel entre l'absorbeur et l'extérieur.

2.4.2.1 Pertes thermiques vers l'avant du capteur :

Nous allons calculer les pertes thermiques vers l'avant du capteur solaire en utilisant la méthode de KLEIN [2].

$$U_t = \left[\frac{N}{\frac{c}{T_{p,m}} \left[\frac{T_{p,m} - T_a}{N+f} \right]^e} + \frac{1}{h_w} \right]^{-1} + \frac{\delta(T_{p,m} + T_a)(T_{p,m}^2 + T_a^2)}{(\varepsilon_p + 0.00591 \times N \times h_w)^{-1} + \left(\frac{2N+f-1+0.133\varepsilon_p}{\varepsilon_g} \right)^{-N}} \quad (2.8)$$

T_a : Température ambiante

T_{p,m} : Température moyenne de l'absorbeur

N : nombre de couverture

β = 34° (angle l'inclinaison du capteur)

ξ_p = 0.9 (émissivité de l'absorbeur)

ξ_g = 0.88 (émissivité du vitrage)

h_w = 5.67+3.86 V avec V La vitesse moyenne du vent

f = (1+0.089 h_w-0.1166 h_w ξ_p) (1+0.07866 N)

c = 520(1- 0.000051 β²)

e = 0,43 \left(1 - \frac{100}{T_{p,m}} \right)

2.4.2.2 Pertes thermiques vers l'arrière d'un capteur

Les pertes arrière sont peu importantes devant les pertes avant. En effet, le capteur étant généralement bien isolé à l'arrière. L'expression permettant d'évaluer le coefficient d'échange est donnée par :

$$U_{arr} = \frac{1}{R_4} = \frac{\lambda_{is}}{L_{is}} \quad (2.9)$$

Où:

λ_{is} : est la conductivité thermique de l'isolant

L_{is} : c'est la largeur de l'isolant

2.4.2.3 Pertes thermiques vers les côtés d'un capteur

C'est aussi des pertes que beaucoup de gens considère presque nul parce qu'il y'a une isolation même sur les côtés.

Il y'a une formule qui nous permet de calculer ces pertes :

$$U_e = \left(\frac{\lambda}{L_{is}}\right) \frac{A_l}{A_c} \quad (2.10)$$

Où:

A_l : surface du capteur

A_c : surfaces latérales

2.4.3 Le Rendement du capteur thermique plan :

Le rendement d'un capteur solaire dont le symbole est η est le rapport de la chaleur emmagasinée par le fluide caloporteur sur la puissance incidente reçue par le rayonnement solaire G . le rendement d'un capteur chute au cours de la journée car ses pertes sont en fonction de la différence de température entre l'air ambiant et l'absorbeur. Plus cette différence de température augmente, plus le rendement du capteur chute.

Cette équation du rendement tient compte de l'influence des caractéristiques de l'absorbeur et du débit du fluide caloporteur.

L'équation du rendement du capteur se présente sous la forme : La figure ci-après est un récapitulatif du rendement de capteurs en fonction de la température [23].

$$\eta = \eta_0 \cdot \frac{U_g}{G} \cdot (T_m - T_a) \quad (2.11)$$

Où:

$$\eta_0 = F' \cdot \alpha \cdot \varepsilon \quad (2.12)$$

ou η_0 est appelé rendement optique du capteur solaire.

F' : fonction de la qualité du transfert de chaleur entre l'absorbeur et le fluide

α : coefficient d'absorption de l'absorbeur

ε : coefficient de transmission du vitrage

U_g : coefficient global des pertes du capteur ($W/m^2 \cdot K$)

T_a : température de l'air ambiant (K)

T_m : température moyenne du fluide caloporteur (K)

G : rayonnement solaire globale (W/m^2)

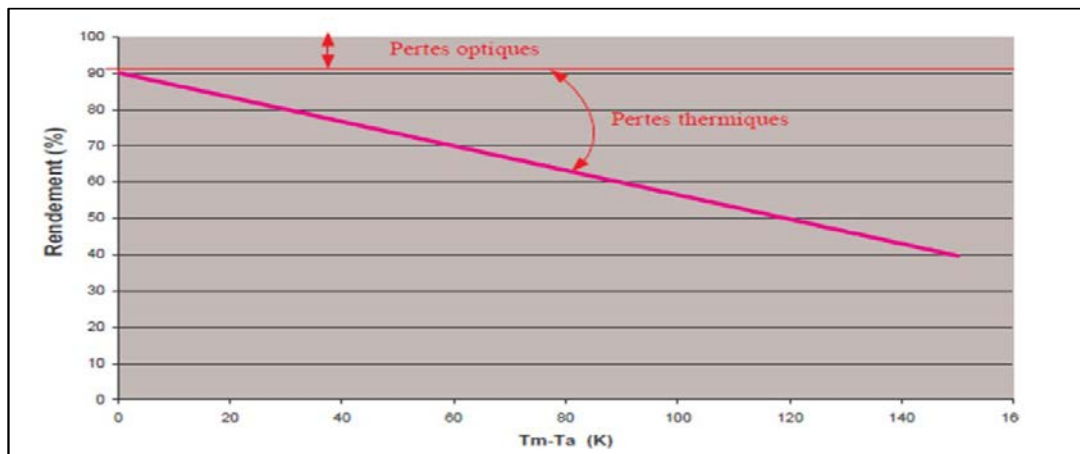


Figure 2-3 : rendement du capteur en fonction de la température de l'air ambiant et de la température moyenne du fluide caloporteur [29]

2.5 MODE DE FONCTIONNEMENT D'UN CHAUFFE- EAU SOLAIRE

2.5.1 Mode de circulation

2.5.1 .1 Circulation naturelle (par thermosiphon)

La mise en mouvement du fluide se fait par le principe de thermosiphon.

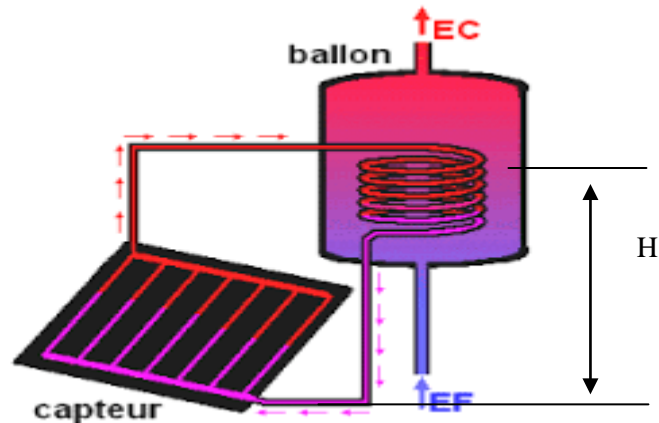


Figure 2-4: Fonctionnement en thermosiphon

Le mouvement du fluide est caractérisé par la relation suivante [26]:

$$H \cdot g \cdot (\rho_f - \rho_c) = \frac{f \cdot U^2}{2} \rho_m \quad (2.13)$$

Avec :

H : distance (en mètre) entre les deux plans médians horizontaux du réservoir et du capteur.

g : accélération de la pesanteur en m/s^2

ρ_f : masse volumique de l'eau froide en kg/m^3

ρ_c : masse volumique de l'eau chaude en kg/m^3

$\rho_m = \sqrt{\rho_f \cdot \rho_c}$: masse volumique moyenne de l'eau en kg/m^3

$$U^2 = \frac{2}{J} H \cdot \Delta T \quad (2.14)$$

J : coefficient global de pertes de charge dans la conduite de circulation

U : vitesse d'écoulement du fluide donnée par la formule

ΔT : différence de température entre le fluide chaud et le fluide froid

L'effet thermosiphon dépend donc de la charge H et la variation de température ΔT .

2.5.1 .2 Circulation forcée (par pompe)

Dans ce cas la circulation de vient plus souple et donc on a moins de contrainte pour le dimensionnement de l'échangeur de chaleur. Comme la circulation est forcée dans les tubes, le capteur n'a pas grande importance, contrairement à l'exemple ci-dessus. La bonne circulation du fluide devient indifférente à la position du réservoir (figure 2-5).

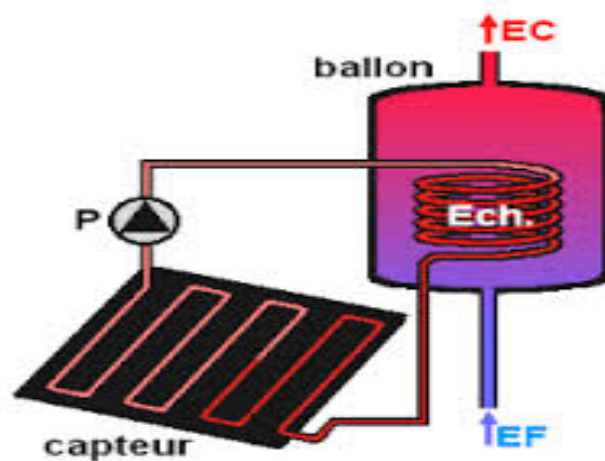


Figure 2-5: Fonctionnement avec circulateur

Le circulateur ne fonctionne que si la température de sortie du capteur est supérieure à la température du fluide en sortie de ballon. Un système de régulation simple est nécessaire,

2.5.2 Types de stockage

2.5.2.1 Stockage avec échangeur: système à deux fluides

Le fluide primaire 1 circule dans un échangeur placé il la base du réservoir R. Il transmet ainsi de la chaleur au fluide secondaire 2 par 1 biais de l'échangeur [27]. (figure 2.6)

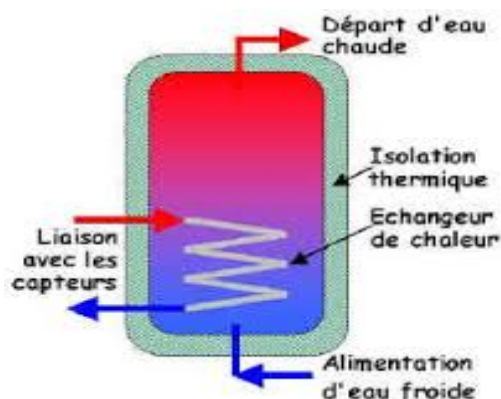


Figure 2-6 : stockage avec échangeur

2.5.2.2 Stockage sans échangeur: système à un fluide

Pour cette disposition le fluide récupère la chaleur de lui-même du capteur. L'échange se fait donc par mélange. L'inconvénient réside dans le fait que le fluide qui circule dans le capteur est continuellement renouvelé favorisant ainsi l'entartrage de l'absorbeur [27].

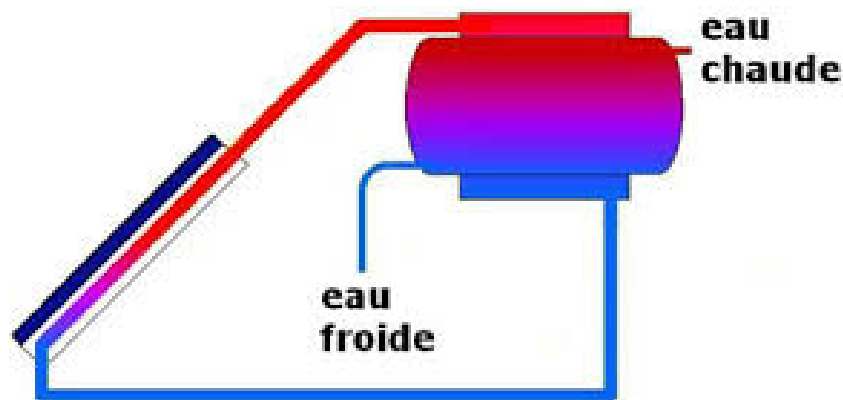


Figure 2-7 : Stockage sans échangeur

2.6-ETUDE DES BESOINS

La première étape dans le dimensionnement d'un chauffe-eau solaire est la détermination de la consommation individuelle. Cependant, cette quantité dépend de plusieurs paramètres et a des valeurs différentes selon les auteurs.

2.6.1 Variables qui influent sur la consommation

Les besoins individuels en ECS sont rattachés aux éléments suivants:

- la nature de l'utilisation qui correspond au type de local (habitation, hôtel, bureau ou hôpital) ;
- le genre de vie des utilisateurs qui tient compte du pays, de coutumes, de la région, du climat et du niveau de vie ;
- l'équipement unitaire thermique ;
- la saison: selon qu'on soit en période de froid ou non, la consommation en eau chaude sanitaire varie fortement comme on peut le voir sur la figure ci-dessous [28] .

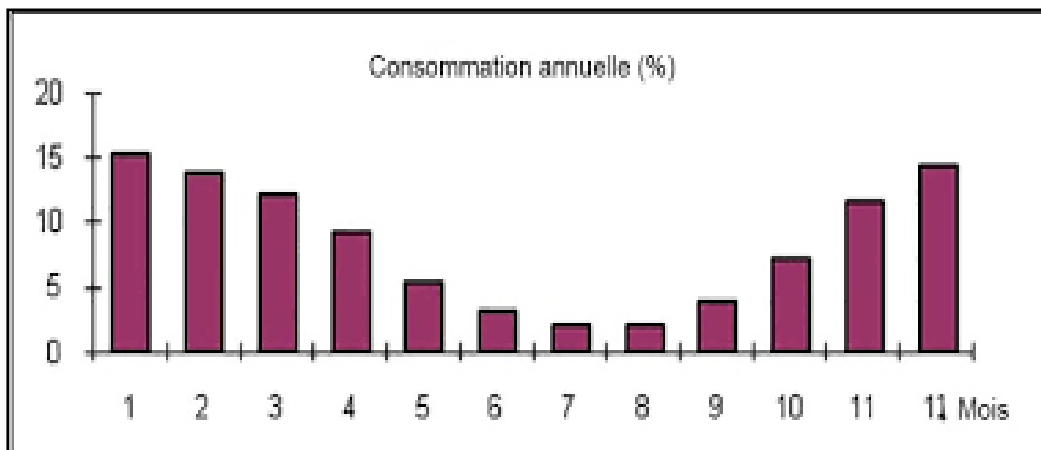


Figure 2-8 : Variation de la consommation d'eau chaude en ans

Cette diagramme caractérise les relevés dans un ensemble de logements existants. Et on y voit que la consommation varie d'un moi à l'autre. Néanmoins, il est à noter que dans le dimensionnement, seule la valeur maximale est pertinente.

- le jour de la semaine et le moment de la journée : son influence se voit sur la figure suivante qui est obtenue il partir de données des HLM de la région parisienne [28].

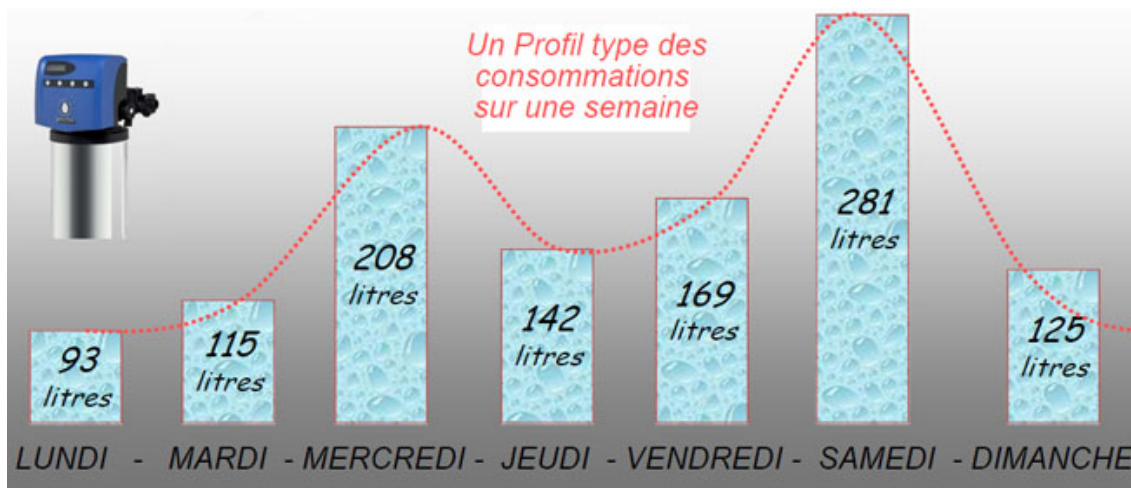


Figure 2-9: Variation de la consommation d'eau chaude en fonction des jours et de l'heure de la journée

Ce graphique illustre la variation de consommations en une journée et entre les jours de la semaine. Cependant les valeurs à considérer dans les calculs sont celles de la courbe enveloppe.

2.6.2 Besoin dans les habitations

Les quantités d'eau chaude sanitaire nécessaires pour une habitation peuvent être déterminées de deux manière différentes : soit par le biais du nombre d'habitants, soit par celui des équipements. Notons par ailleurs que les valeurs données ci-après doivent être reconsidérées pour les pays en voie de développement.

2.6.2.1 Besoins en fonction des habitants

Le tableau - rivant est un récapitulatif des consommations journalière par personne [28]

Tableau 2-1 : Besoins journalier personne en1/j.

Habitations	Confort minimal	Confort normal	Confort maximal
Consommation (l/j) par personne à 50 °C	30	50	75

Pour une construction habitée ou l'on connaît le nombre d'habitants, les besoins s'obtiennent en faisant le produit du nombre d'habitants par la valeur de la consommation pour le niveau de confort désiré. Pour une construction nouvelle, on utilise la valeur moyenne du taux d'occupation normal qui est d'environ 1,5 personne par pièce.

2.6.2.2 Besoins en fonction des logements et des équipements

Généralement, on connaît le nombre d'équipement: sanitaires in tallés (ou à installer).

Dans cc cas, les besoins constituent le cumul les quantités que nécessite chaque appareil, L tableau ci-après donne les quantités par équipement et par type logement [28].

Tableau 2-2 : Besoins d'eau chaude pur équipement sanitaire.

Documents Techniques		Technique EAU CHAUDE – QUANTITÉS NECESSAIRES					CHIFFRE N° 03-101	
En litres par jours – Température de base 50°C							R.DELEBEQUE Reproduction Interdite	
Nombre de pièces Principales		1	2	3	4	5	Observations	
Nombre D'occupants		1 à 2	2 à 3	3 à 5	4 à 7	5 à 9		
HABITATIONS	Appareille	Evier	20	30	40	50	60	
		Lavabo(s)	8	12	16	20*	24*	* 1ou 2 lavabo même quantités
		Douche	20	20	40	40	60	Chiffe pouvant varier de ±20%
		Bidet	5	5	5	10	10	
		Baignoire L < 1,30	70	70	70	140	140	Valeurs Moyennes
		Baignoire L > 1,30	110	110	110	220	220	Valeurs Moyennes
		Bac à laver	16	24	40	50	65	
		Machine à laver	50	50	70	90	120	Variables suivants Les Machines
	Groupes d'appareilles	Evier, Lavabo, Douche, Bac à laver	64	86	136	160	209	Valeurs convenant Pour Habitations Courants
		Evier, Lavabo, Bidet, Baignoire L < 1,30, Machine à laver	193	207	241	390	434	Valeurs convenant Pour Habitations confortables
Divers	Hôpitaux Cliniques et Hôtel Bureaux Ecoles et Casernes	Par jours et par litre				300 à 400 litres		
		Par chambre et par jours				40 litres (sans Baignoire) 200 litres (avec Baignoire)		
		Par personne et par jours				8 litres		
		Par pensionnaire et jours				8 litres (sans Baignoire) 25 litres (avec Baignoire)		
	Cantines et Restaurant	Repas	Vaisselle fait à la Main	Vaisselle fait à la Machine		Observation		
	Par rationnaire	1 2 3	6 12 15	15 30 35		Pour les restaurant de luxe doubler ou tripler ces chiffres		

2.6.3 Besoins journaliers d'une habitation en [kWh]

Les besoins en eau chaude sanitaire peuvent être exprimés en termes de puis, noce. La relation suivante permet de pas el' des besoins en litre par jour (l/j) à ceux en kWh/j [29]:

$$C = 0,0011611.V.(T_c - T_f) \quad (2-15)$$

Avec:

C : La puissance qui représente les besoins en kWh/j.

V : Le volume représente les besoins en l/j.

T_f : La température de l'eau froide en °C.

T_c : La température de l'eau chaude en °C.

2.7 CHOIX DES MATERIAUX

Le choix des matériaux occupe une place très importante dans la conception. En effet, il constitue une étape de référence dans le dimensionnement et a un impact sur la réalisation. Il est tributaire des exigences que l'on se fixe dans la conception (dimensionnement et Fabrication) et dans la commercialisation.

Dans ce paragraphe nous n'aborderons pas l'ensemble des parties du chauffe-eau mais juste les plus essentielles. Notons cependant que le choix des matériaux étant très important, tous les organes de notre appareil ont été soumis à un choix rigoureux.

2.7.1 Le vitrage

Le couvercle transparent est placé devant l'absorbeur pour deux raisons :

-L'isolation : il évite à l'absorbeur d'être atteint par l'air extérieur et ainsi lui permet de bien s'échauffer.

-L'effet de serre : en permettant au rayonnement solaire de passer et en retenant les émissions, de l'absorbeur, il réalise l'effet de serre. L'espace optimal qu'il faut laisser entre la vitre et l'absorbeur est de 28 mm (en pratique 25 à 40 mm) [23].

Le matériau qui convient le mieux est le verre il vitre ordinaire le plus blanc et de 4mm d'épaisseur. Mais ce dernier est fait de plus en plus rare dans le marché et donc on utilisera celui qui est vendu maintenant. Car la présence d'oxydes métalliques dans celui-ci ne seraient presque pas dans l'utilisation.

2.7.2 L'absorbeur et le serpentín

Cet ensemble permet de chauffer le fluide circulant dans la tuyauterie. L'absorbeur sera en plaques d'aluminium peint en noire mate et le serpentín en cuivre il cause de ses bonnes propriétés thermiques et que le cuivre résiste bien à la corrosion.

Pour que le thermosiphon s'amorce facilement, le circuit d'eau dans l'isolateur doit lui être favorable [23]. A cet effet, classification des formes de serpentín donnée à l'annexe 2, Nous choisissons le modèle aux tubes verticaux parallèles.

2.7.3 L'isolation

le capteur et le réservoir doivent être bien calorifuges pour un rendement optimal. et donc, un choix judicieux s'impose.

L'annexe 1 répertorie quelque isolant avec leur propriété.

A cause de sa disponibilité et de ses caractéristiques adéquates, nous choisissons le polystyrène expansé thermo-comprime.

2.7.4 Le cadre (ou coque)

Il maintient rigide l'ensemble. Les matériaux possibles pour son élaboration sont :

✓ Tôle noire ordinaire : bon marché, mais facilite les pertes thermiques et nécessite un matériel lourd (plieuse, poste de soudure,.....)

✓ Bois : bon marché, mais durée de vie relativement faible.

✓ Plastique : fibre de verre et résine. Sure et pas très chère, ne nécessite aucun matériel particulier, demande beaucoup de soins, mais de plus en plus utilisé dans notre cas nous choisissons d'utiliser le bois car plus accessible dans le marché.

2.7.5 L'enveloppe intérieure du réservoir

Elle sera faite avec de la tôle galva pour éviter sa corrosion. On pourra prévoir un revêtement antirouille pour une meilleure protection.

CHAPITRE 3:

Réalisation Installation Expérimentation

Réalisation

Dans ce chapitre nous donnons une description sommaire des opérations de fabrications.

3-1 REALISATION DU CAPTEUR

3-1-1 L'absorbeur (L'échangeur) :

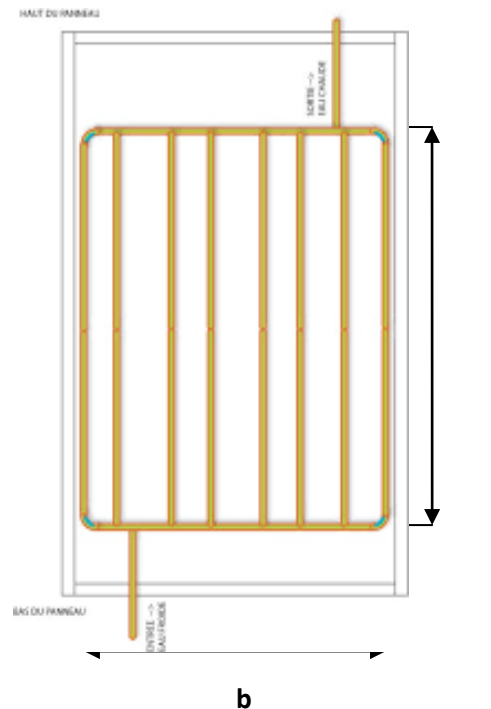
Les étapes de la fabrication du serpentín sont le découpage du tube, le cintrage suivi du perçage (pour la fixation des traverses) des deux tubes en bordure et l'assemblage par soudure des différents éléments.

On trouve 2 types de tube de cuivre :



Figure 3-1: Réalisation de l'échangeur

- 2 Tubes en cuivre de diamètre intérieur de 16 mm et un diamètre extérieur de 18 mm raccordés entre eux sur une longueur de 1m .
- 10 Tubes en cuivre de diamètre intérieur de 14 mm et un diamètre extérieur de 16 mm raccordés entre eux sur une longueur de 2m, ils ont été soudés à l'aide d'un chalumeau.



l : longueur tubes
 b : largeur tubes
 N : nombre de tube
 W : espacement des tubes

Figure 3-2: Schéma de l'échangeur

Caractéristiques du cuivre:

- Masse atomique: 63,54 g/mol
- Conductivité thermique a 273,2k: $\lambda=403\text{w/mk}$
- Masse volumique du cuivre métallique: $\rho=8920\text{a } 8950 \text{ kg/m}^3$
- Réseau cristallin: polycristallins cubique a face centrée d'une température de fusion: $1\ 085^\circ\text{c}$
- A la fin on les peints en noir mat pour un maximum d'absorption.

3-1-2 Le cadre :

Le capteur est protégé par un boîtier en bois fabriqué en contreplaqué en arrière et en bois de 1 cm d'épaisseur sur les cotés. Les dimensions de ce dernier sont comme suit: 210cm de longueur, 110cm de largeur et 10 cm d'épaisseur.



Figure 3-3: Le cadre en bois

3-1-3 L'isolation :**1-polystyrène :**

L'isolant arrière est constitué de feuilles de polystyrène de 40mm d'épaisseur placées dans le cadre en arrière et même sur les côtés (utiliser comme réflecteur) comme il est indiqué dans la figure3-5:



Figure 3-5:l'emplacement de l'isolant

Caractéristiques du polystyrène:

Conductivité thermique à 273,2K: $\lambda=403\text{w/mk}$

2- laine de verre :

L'isolant arrière c'est de feuille de laine de verre de 20mm d'épaisseur placé dans le cadre en arrière et même sur les côtés (utiliser comme réflecteur) comme il est indiqué dans la figure 3-6:



Figure 3-6 :la laine de verre .

Caractéristiques de la laine de verre :

Conductivité thermique: $\lambda=0.035\text{w/mc}$

3-1-4 Une plaque absorbante :

L'absorbant est une plaque d'aluminium, peinte avec une peinture de bombe aérosol noire mate.

La figure suivante montre la pose de la plaque absorbante figure 3-7.



Figure 3-7: la plaque en aluminium sans peinture.



Figure 3-8 :le plaque en aluminium avec peinture et l'échangeur

Caractéristiques de l'aluminium:

- Masse atomique :27g/mol
- Réseau cristallin: structure cubique à faces centrées
- Température de fusion:660°C
- Masse volumique à20°C : $\rho=2.7\text{g/l}$
- Conductivité thermique à 20°C: $\lambda=240\text{w/m}^\circ\text{C}$
- Pouvoir réflecteur (aluminium poli) :85à90% dans le spectre visible, 90 à 98% dans l'infrarouge [24]

3-1-5 Une couverture transparente :

Une vitre transparente de verre trempé d'épaisseur 4 mm pour une optimisation maximale du rayonnement

La photo seule montre le vitrage seule utilisé représenté par la figure3-9.



Figure 3-9: l'emplacement de la vitre

La vitre est jointée avec le cadre en bois à l'aide d'un mastic pour limiter et éviter les pertes thermiques.



Figure 3-10: l'emplacement de mastic



Figure 3-11 : Le support du capteur

3-1-6 Le support du capteur

Le capteur est supporté par un support en acier qui a été réalisé par nous-même au niveau de l'atelier de la faculté.

Les étapes de construction du support :

-La première étape c'est de tracer un schéma avec un angle précis (34°) c'est l'altitude de la willaya de Tlemcen.

- On a ramené des tubes en fer carré pour avoir une bonne stabilité et maintien du capteur, et on les a coupés aux dimensions exactes à l'aide d'une d'ébarbeuse.

- Et pour finir nous avons soudé toutes les parties à l'aide de poste de soudage et qu'on a appris à souder par nous-même.

3-2-Circuit hydraulique :

Le mouvement du fluide s'effectue de bas en haut : le fluide caloporteur froid (l'eau) entre dans le capteur par le bas et ressort chaud par le haut. Le fluide circule en circuit fermé entre le capteur et un réservoir. Une pompe assure la montée du fluide et un système de vannes placées à l'entrée du capteur permet de contrôler le débit. La mesure du débit se fait, à une position donnée des vannes, par mesure du temps et du volume correspondant écoulé. Le capteur est placé sur un châssis qui permet d'avoir une inclinaison de 34° par rapport à l'horizontale, cette inclinaison est prise de l'altitude de la ville d'essais (Tlemcen).

L'installation est placée dans une cour dégagée au sein de la faculté comme nous le démontre la figure suivante



Figure 3-12 : Circuit hydraulique

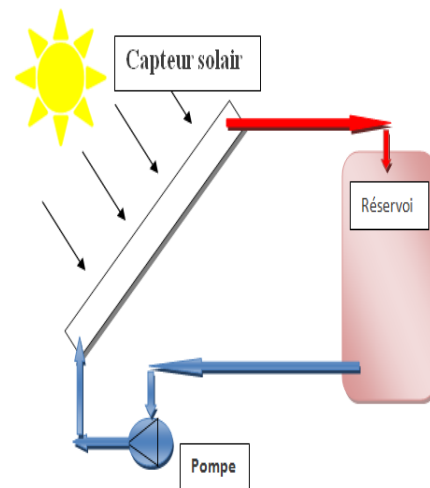


Figure 3-13 : Schéma de Circuit hydraulique

Les caractéristiques de l'eau

- Chaleur spécifique de l'eau = 4180 J/kg.k
- Conductivité thermique $\lambda = 0,0059 \text{ w/m.k}$
- Masse volumique $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
- Température d'ébullition : 100°C .
- Température de congélation : 0°C .

Ce fluide caloporteur circule avec un débit précis afin de capté le maximum de chaleur et la transporté au cours de la ligne focale.

La distribution de la température change progressivement au long du serpentin du capteur (échangeur)

3-3-Instrumentation du capteur :

3-3-1-Mesure de l'éclairement :

Le rayonnement solaire global est mesuré grâce un solarimètre étalonné. Celui-ci est placé dans le même plan que le capteur vis à vis du rayonnement solaire comme est montré dans la figure suivante :



Figure 3-14 : photo graphie du solarimètre

3-3-2-Mesure des températures :

Les températures sont mesurées à l'aide de thermocouples Nickel-Chrome/Nickel-Aluminium, de type K. Ces thermocouples, de diamètre 0,05mm, avec un intervalle de -50°C peuvent aller jusqu'à des températures de 400°C et permettent une précision de $0,1^{\circ}\text{C}$.

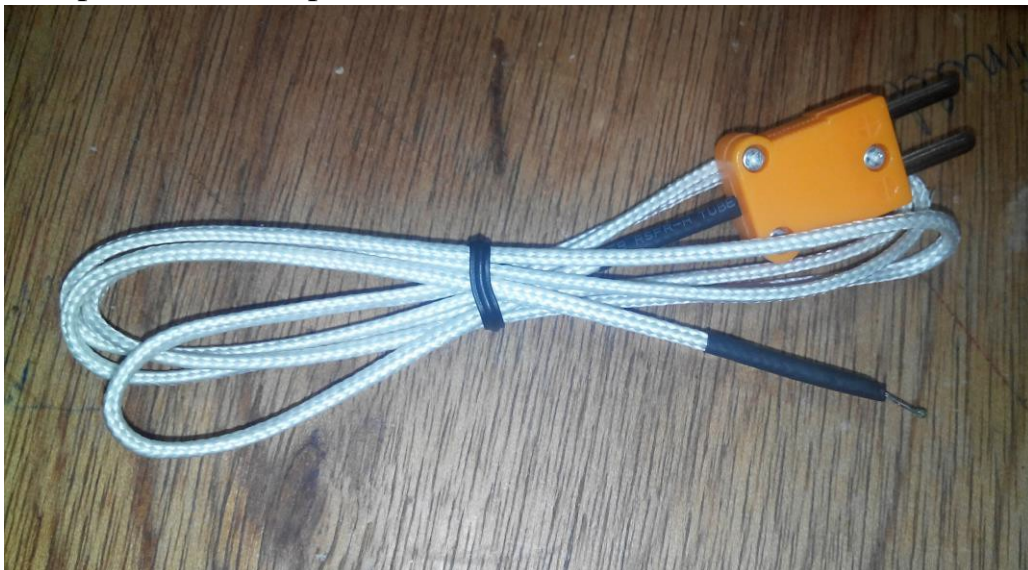


Figure 3-15: photographie d'un thermocouple Type K

Le capteur est équipé de 12 thermocouples. 5 thermocouples permettent de suivre la température du fluide caloporteur circulant dans le capteur. Deux thermocouples sont installés à l'entrée et à la sortie du tuyau d'alimentation du capteur et deux autres sont installés sur l'absorbeur et un 3^{ème} sur le vitrage et un 4^{ème} sur air dans le capteur et un 5^{ème} sur le réservoir, et enfin un dernier permet de suivre la température ambiante.

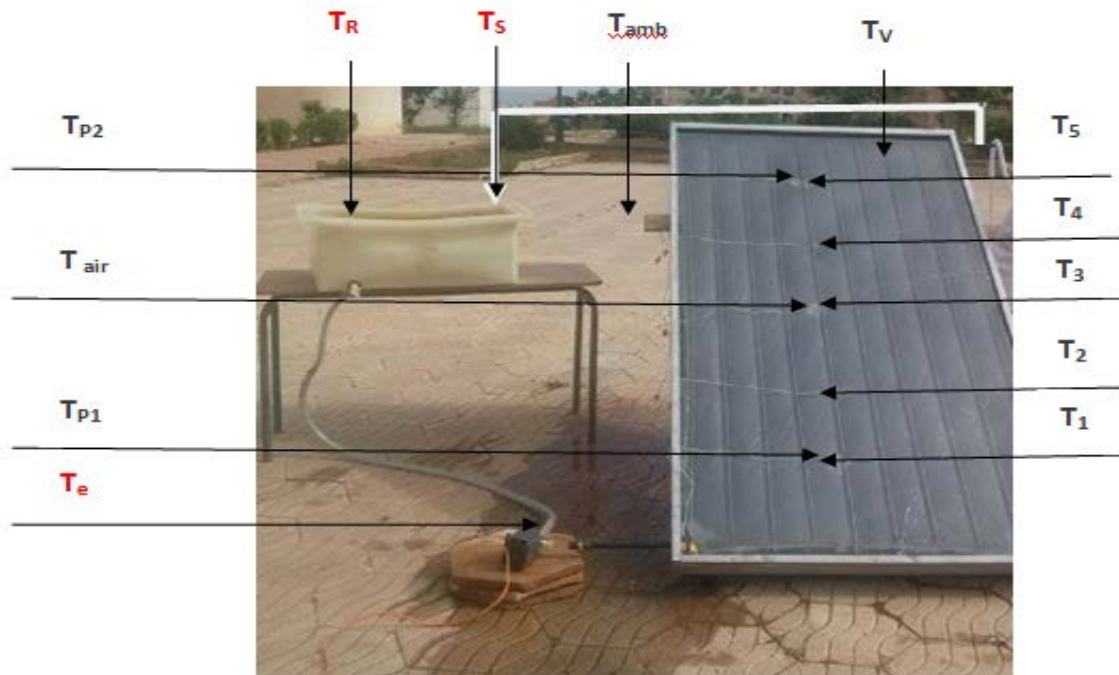


Figure 3-16 : l'emplacement des thermocouples

3-3-2-1-lecture des données:

Le relevé de la température s'effectue grâce à un multimètre type TESTO qui affiche directement sur l'afficheur (voir figure 3.16), et on doit prendre les températures une à une.



Figure 3-17 : Le thermomètre type TESTO

Analyse de l'erreur des mesures

Dans cette partie on va s'intéresser à l'analyse d'erreur lors des mesures de température. Ceci va nous permettre de quantifier l'incertitude de mesure relative aux mesures de températures réalisées durant l'expérience.

Selon l'ensemble de mesure du dispositif, les mesures d'erreur potentielle à tenir compte sont :

- Précision des thermocouples
- Précision du multimètre qui donne la lecture

Pour l'estimation de l'erreur, notons par exemple ΔT l'écart type entre la valeur mesurée et la valeur vraie, une incertitude est donc donnée sous la forme ΔT

Précision des thermocouples :

Les thermocouples placés dans le capteur sont de type K, d'après les fabricants, ils ont une précision de $0,1^{\circ}\text{C}$ ou $0,75\%$ de la température

3-3-3-Mesure des vitesses :

On lis la distribution de la vitesse avec un anémomètre qui l'affiche directement sur l'afficheur, et on doit prendre les vitesses une a une. Voilà une photo illustrant l'anémomètre figure 3.18.



Figure 3-18: l'anémomètre

3-4-Les différents paramètres d'un capteur.

3-4-1-Paramètres externes :

- Paramètres d'ensoleillement : éclairement énergétique du au rayonne soleil et à la durée d'insolation.
- la temperature extérieure.
- la vitesse du vent sur le capteur

3-4-2-Paramètres interne:

- Paramètres de position : l'inclinaison et l'orientation.
- Dimensionnement du capteur : L'épaisseur, la longueur, la largeur, et la surface réceptrice.
- La section de passage du fluide.

3-4-3-Paramètres de fonctionnement:

- La température d'entrée du fluide dans le capteur.
- Les températures des différentes parties du capteur.
- Le débit du fluide caloporteur.

3-5-Déroulement des expériences:

Les séries d'expériences ont été entreprises dans la cour près du hall de l'atelier de mécanique au sein de la faculté de technologie. Diverses prises de mesures sont effectuées, en faisant varier les différents paramètres tels que :

- La variation de l'irradiation solaire.
- La variation du débit de l'écoulement

Pour le changement de l'irradiation solaire c'est un paramètre qu'on ne peut pas le contrôle alors on a laissé le débit constant et pendant une journée claire et bien ensoleillée, et pour la variation du débit c quand l'ensoleillement est constant alors on a pris différentes valeurs à des intervalles de temps constant (chaque 30min).

3-6-Résultats et interprétation:

Le tableau illustre les différentes températures prises pendant la période de test au niveau des différents points dans le capteur solaire plan.

- Le débit du fluide caloporteur : $\dot{m}=0.16l/s$.

Tableau 3.1 : Relevés de températures.08/05/2016

	T_e	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T _{P1}	T _{P2}	T _{air}	T_s	T _R	T _{amb}	T _v	I _c	V
09 ^h 50	21,1	26,3	28,3	34,7	35,2	35,8	50,4	497	40,1	24,3	24,1	19	24	345	0.53
10 ^h 20	26,4	34,5	37	37,6	38	38,5	63,2	64,4	53,4	27,8	27,5	20,5	38	440	0.02
10 ^h 50	29,8	39,2	40,7	43,2	43,9	44,2	79,6	81,6	69,8	30,7	30,4	24,3	45,1	744	0.4
11 ^h 20	33,7	37,4	38,5	40	40,5	41	57,2	58,3	54,2	33,8	33,4	23,2	39	341	0.72
11 ^h 50	33,5	43,4	44,4	45,8	46,4	47,1	91,7	92,5	72,5	36,9	35,8	26,4	50,5	930	0.37
12 ^h 20	35,2	43,5	46,5	49,2	49,9	50,2	91,5	92	74,2	38	37,5	22,5	48,2	791	0.05
12 ^h 50	39,4	53,4	55,3	56,5	57,6	58,3	93	96,5	82,9	41,6	41,3	25	52,2	905	0.26
13 ^h 20	37,6	44,8	46,6	47,2	47,9	48,4	73,2	74,2	62,2	39,6	39,3	24,5	44	540	0.58
13 ^h 50	37	40,8	41,7	42,3	42,9	43,2	62,3	63,4	54,2	36,7	36,4	23,8	38	336	0.1
14 ^h 20	35,5	42,4	44,9	46,5	47,1	47,9	80,2	80,1	66	36,8	36,6	25,7	43,9	550	0.08
14 ^h 50	35,3	42,6	43,1	45,3	46,4	47,6	93	94	84	37,6	37,2	25,3	48	376	0.4
15 ^h 20	36,2	41,2	42,4	43,5	44,9	45,6	71,4	72,7	63,3	37,2	37	26,8	45,1	370	0.13
15 ^h 50	38,5	40,6	42,2	43	44,1	45,7	58,2	60,1	53,5	38,4	38,2	25,5	41,2	314	0.02
16 ^h 20	33,6	36	36,3	36,8	37,2	38	42,1	42	38	34,2	34,1	23,1	31,3	231	0.26

Tableau 3.2 : Relevés de températures.09/05/2016

	T_e	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T _{P1}	T _{P2}	T _{air}	T_s	T _R	T _{amb}	T _v	I _c	V
09 ^h 50	19.3	21.6	22.1	24	22.9	23.8	39.2	40.1	34	19.5	19.4	19.3	25.8	163	0.9
10 ^h 20	21	23.1	24.2	24.3	24.1	24.2	35,5	37.6	34.5	21.1	20.9	20.4	26	148	0.1
10 ^h 50	22.7	28.3	29.2	29.7	28	29.9	43.4	44.5	38.9	23	22.8	19.5	29	419	0.99
11 ^h 20	23.3	29.9	29.9	31.6	32.7	32.1	59	61.5	50.5	24	23.8	19.7	34.5	370	1.01
11 ^h 50	28	43.6	44.1	44.5	43.3	47.1	110.7	112.1	89.7	32.3	27.8	24	46.5	1023	0.4
12 ^h 20	38.5	44.3	44.5	48	46.5	47.2	83.1	83.5	66.5	37	38	25.7	53.1	1202	0.48
12 ^h 50	40.5	51.7	51.9	52.1	52.1	53	87.2	85.7	67.8	41.5	40.3	26.7	59.5	1160	0.3
13 ^h 20	38.8	47.4	47.7	52.4	49.9	50.7	85.7	86.9	72.2	40.5	38.9	25.4	52.3	162	1.47
13 ^h 50	37.8	42.2	42.7	43.9	42,6	43	60,8	61.2	53.5	38,6	37.7	24.2	38.4	296	1.13
14 ^h 20	33.1	37.1	37.3	38.4	38	38.5	55.5	55.7	49	33.4	33.1	22.5	35	277	1.16
14 ^h 50	34.4	36.9	38.2	38.3	38.2	38.9	46.3	46.9	43.4	34.7	34.3	23.9	36.7	306	0.99
15 ^h 20	27.5	27.1	26	26.7	26.9	27	21	21.1	22.2	28.4	27.4	18.3	21.3	24	1.6
15 ^h 50	23.2	22.9	22.6	23	23.1	23,4	21.1	21.2	20.6	23.7	23.3	15.4	17.3	63	4.17
16 ^h 20	21.8	23.3	22.3	24.1	24.1	24.5	29.2	29.4	27.8	22.2	21.9	15.2	16.7	87	0.88

Tableau 3.3 : Relevés de températures.10/05/2016

	T_e	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T _{P1}	T _{P2}	T _{air}	T_s	T _R	T _{amb}	T _v	I _c	V
09 ^h 50	27.5	35.1	35	36.1	36.9	37.4	75.2	75.4	74.3	27.8	27.4	21.6	39.7	458	0.61
10 ^h 20	29.9	36.3	36.6	37.4	37.7	39.4	79.7	79.4	76.4	30.9	30.6	21.9	46.4	462	0.48
10 ^h 50	34.1	41.5	42.6	42,8	43.1	43.5	80.1	80.2	70.1	34.3	33.8	22.3	45.8	490	0.98
11 ^h 20	37.2	44.8	45.7	46.4	46.7	47.5	91.5	91.9	80.2	38.1	37.2	26	49.1	779	0.68
11 ^h 50	38.9	54.2	54.4	54.2	54.2	55	125.3	115.4	94.5	39.5	39.2	26.9	55.6	922	0.16
12 ^h 20	43.4	55	55.1	55.2	55.4	55.6	107.2	107.3	88.7	44.2	43.4	26.3	56	716	1.4
12 ^h 50	44.6	49.9	50	50.9	51	52.9	85	86	70	45.7	43.5	25.4	51.2	619	0.5
13 ^h 20	40.2	45.1	45.3	34.5	45.7	46.1	60.3	60.5	59.9	41.6	42.1	24.1	35.9	415	1.5
13 ^h 50	33.2	33	34	34.1	34.5	35.1	42.5	42.7	39.7	33.5	33.2	19.1	26.7	232	2
14 ^h 20	28.5	31	31.4	31.5	31.7	32.1	42	42.1	40.2	28.8	28.7	19.2	27	223	1.04
14 ^h 50	28.3	30.6	30.8	31	31.1	31.8	36.1	36.3	35.7	28.7	28.2	20.4	27.8	230	0.48
15 ^h 20	27.1	28.9	29	29.2	29.4	29.4	34.2	34.3	32.4	27.6	27.2	19.7	25.9	233	0.59
15 ^h 50	27.5	34	34.2	34.4	34.4	35	46.7	46.9	44.5	27.7	27.6	22.2	33.7	272	0.16
16 ^h 20	29.9	32.9	32.9	33.1	33.6	33.6	41	41.1	38	30.5	29.8	22	31.1	235	1.88

Nous allons calculer les pertes thermiques du capteur solaire en commençant avec les pertes vers l'avant en utilisant la méthode de KLEIN [2]. D'abord nous allons les calculer avec 3 point dans le 1jour (08/05/2016).

$$U_t = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_{p,m}} \left[\frac{T_{p,m} - T_a}{N + f} \right]^e + \frac{1}{h_w}} \right]^{-1} + \frac{\delta(T_{p,m} + T_a)(T_{p,m}^2 + T_a^2)}{(\varepsilon_p + 0.00591 \times N \times h_w)^{-1} + \left(\frac{2N + f - 1 + 0.133\varepsilon_p}{\varepsilon_g} \right) - N}$$

3-6-1-Les pertes vers l'avant:

Le Point 1 :09^h 50.

Avec les paramètres suivant : $T_{a1}=19^{\circ}c+273.15= 292.15K$

$T_{p1}=50.05^{\circ}c+273.15= 323.05K$

$\beta = 34^{\circ}$ (l'inclinaison du capteur)

$\xi_p=0.9$ (émissivité de l'absorbeur)

$\xi_g= 0.88$ (émissivité du vitrage)

$h_w=5.67+3.86V$ avec **V** La vitesse du vent dans le point et elle est estimée à 0.53m/s.

$f= (1+0.089h_w-0.1166 h_w\xi_p) (1+0.07866N) = 0.95$

$c = 520(1-0.000051 \beta^2) = 489.34$

$e = 0.43 \left(1 - \frac{100}{T_{p,m}} \right) = 0.296$

$I_{c1}=345 \text{ w/m}^2$

Avec ses résultats nous obtenons **$U_{t1}= 5.12w/m^2K$**

Le Point 2 :12^h 50.

Avec les paramètres suivants: $T_a=25^{\circ}c+273.15= 298.15K$

$T_{p,m}=94.75^{\circ}c+273.15= 367.75K$

$$\beta = 34^\circ (\text{l'inclinaison du capteur})$$

$$\xi_p = 0.9 (\text{émissivité de l'absorbeur})$$

$$\xi_g = 0.88 (\text{émissivité du vitrage})$$

$h_w = 5.67 + 3.86V$ avec V La vitesse du vent dans le point et elle est estimée à 0.05m/s.

$$f = (1 + 0.089h_w - 0.1166 h_w \xi_p) (1 + 0.07866N) = 0.978$$

$$c = 520(1 - 0.000051 \beta^2) = 489.34$$

$$e = 0.43 \left(1 - \frac{100}{T_{p.m}} \right) = 0.31$$

$$I_{c2} = 791 \text{ w/m}^2$$

Avec ses résultats nous obtenons $U_{t2} = 6.86 \text{ w/m}^2\text{K}$

Le Point 3 : 16^h 50.

Avec les paramètres suivant: $T_{a1} = 23.1^\circ\text{c} + 273.15 = 296.16\text{K}$

$$T_{p1} = 42^\circ\text{c} + 273.15 = 315.15\text{K}$$

$$\beta = 34^\circ (\text{l'inclinaison du capteur})$$

$$\xi_p = 0.9 (\text{émissivité de l'absorbeur})$$

$$\xi_g = 0.88 (\text{émissivité du vitrage})$$

$h_w = 5.67 + 3.86V$ avec V La vitesse du vent dans le point et elle est estimée à 0.26m/s.

$$f = (1 + 0.089h_w - 0.1166 h_w \xi_p) (1 + 0.07866N) = 0.974$$

$$c = 520(1 - 0.000051 \beta^2) = 489.34$$

$$e = 0.43 \left(1 - \frac{100}{T_{p.m}} \right) = 0.293$$

$$I_{c3} = 231 \text{ w/m}^2$$

Avec ses résultats nous obtenons $U_{t3} = 4.73 \text{ w/m}^2\text{K}$

3-6-2- Les pertes vers l'arrière:

On utilise la méthode des résistances pour calculer les pertes vers l'arrière en utilisant la formule suivante:

$$U_b = \frac{1}{R_{eq}} = \frac{\lambda}{L} \text{ Avec } L \text{ (épaisseur de l'isolant)}$$

Dans notre cas nous avons 3 isolants dans le capteur le polyester et le bois et la laine de verre. On calcule la résistance de chaque isolant seule puis on calcule la résistance équivalente:

$$R_b = \frac{e}{\lambda_b} = \frac{10^{-2}}{0.14} = 0.714 \text{ m}^2 \text{ c/w} \quad \text{Avec } R_b \text{ (résistance du bois)}$$

$$R_p = \frac{e}{\lambda_p} = \frac{4 \times 10^{-2}}{0.039} = 1.025 \text{ m}^2 \text{ c/w} \quad \text{Avec } R_p \text{ (résistance du polyester)}$$

$$R_l = \frac{e}{\lambda_l} = \frac{2 \times 10^{-2}}{0.039} = 0.5714 \text{ m}^2 \text{ c/w} \quad \text{Avec } R_l \text{ (résistance du laine de verre)}$$

$$R_{eq} = R_b + R_p + R_l = 1.6327 \text{ m}^2 \text{ c/w}$$

Donc U_b de viennent:

$$U_b = \frac{1}{R_{eq}} = 0.6126 \text{ w/m}^2 \text{ c}$$

3-6-3- Les pertes vers les côtés:

On utilise toujours la méthode des résistances pour calculer ces pertes et la fonction suivante nous permet de les calculés :

$$U_e = \frac{1}{R_{eq}} \left(\frac{A_c}{A_l} \right)$$

$$A_c = 2 \times 1 = 2 \text{ m}^2$$

$$A_l = (2 \times 0.1)2 + (1 \times 0.1)2 = 0.6 \text{ m}^2$$

$$U_e = 2.0423 \text{ w/m}^2 \text{ c}$$

-Le rendement:

On calcule le rendement.

$$\eta = \frac{Q_u}{I_c A_c}$$

En premier on commence par calculer la puissance utile:

$$Q_u = A_c [I_c \times \eta_o - U_t (T_p - T_a)]$$

Avec Le rendement optique : $\eta_o=0.84$

$$Q_{u1} = 261.66w$$

Le rendement : $\eta_1 = 37.92\%$

$$Q_{u2} = 371.64w$$

Le rendement : $\eta_2 = 23.49\%$

$$Q_{u3} = 209.2w$$

Le rendement : $\eta_3 = 45.28\%$

Evolution du rendement en fonction du temps:

La figure3-17 illustre l'évolution du rendement a différents instant de la journée.

L'évolution croissante de le rendement pour les différents points choisi sur le capteur solaire à partir de 09h50jusqu'à16h20.

Ce rendement atteint unminimumde23.49% à12h50.

Premier jours (08/05/2016)

Nous allons calculer les pertes thermiques du capteur solaire en commençant avec les pertes vers l'avant en utilisant la méthode de KLEIN ; d'abord nous allons les calculer avec un Irradiation moyenne ($I_{c\ moy}$) de 515,25w/m².

$$U_t = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_{p.m}} \left[\frac{T_{p.m} - T_a}{N + f} \right]^e + \frac{1}{h_w}} \right]^{-1} + \frac{\delta(T_{p.m} + T_a)(T_{p.m}^2 + T_a^2)}{(\varepsilon_p + 0.00591 \times N \times h_w)^{-1} + \left(\frac{2N + f - 1 + 0.133\varepsilon_p}{\varepsilon_g} \right) - N}$$

-Les pertes vers l'avant avec $I_c = 515,25w/m^2$:

Avec les paramètres suivant:

$$T_a=24\ ^\circ c+273.15= 307.15K$$

$$T_{p,m}=72,5^\circ c+273.15= 345.65K$$

$\beta = 34^\circ$ (l'inclinaison du capteur)

$\xi_p= 0.9$ (émissivité de l'absorbeur)

$\xi_g= 0.88$ (émissivité du vitrage)

$$h_w = 5.67 + 3.86V$$

avec V La vitesse moyenne du vent dans la journée et elle est estimée à 0.28m/s.

$$f = (1 + 0.089h_w - 0.1166 h_w \xi_p) (1 + 0.07866N) = 0.96$$

$$c = 520(1 - 0.000051 \beta^2) = 489.34$$

$$e = 0,43 \left(1 - \frac{100}{72} \right) = -0,129$$

Avec ses résultats nous obtenons $U_t = 4,4 \text{ w/m}^2\text{K}$

-Les pertes vers l'arrière:

On utilise la méthode des résistances pour calculer les pertes vers l'arrière en utilisant la formule suivante :

$$U_b = \frac{1}{R_{eq}} = \frac{\lambda}{L} \text{ Avec } L \text{ (épaisseur de l'isolant)}$$

Dans notre cas nous avons deux isolants dans le capteur le polyester et le bois, on calcule la résistance de chaque isolant seule puis on calcule la résistance équivalente :

$$R_b = \frac{e_b}{\lambda_b} = \frac{1.10^{-2}}{0,14} = 0,0714 \text{ m}^2\text{C/W Avec } R_b \text{ (résistance du bois)}$$

$$R_p = \frac{e_p}{\lambda_p} = \frac{4.10^{-2}}{0,039} = 1,025 \text{ m}^2\text{C/W Avec } R_p \text{ (résistance du polyester)}$$

$$R_l = \frac{e_l}{\lambda_l} = \frac{2.10^{-2}}{0,035} = 0,5714. \text{ m}^2\text{C/W Avec } R_l \text{ (résistance de la laine de verre)}$$

$$R_{eq} = R_b + R_p + R_l = 0,0714 + 1,025 + 05714 = 1,6678 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Donc U_b de viennent:

$$U_b = \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{1,6678} = 0,6 \text{ w/m}^2\text{c}$$

-Les pertes vers les côtés:

On utilise toujours la méthode des résistances pour calculer ces pertes et la fonction suivante nous permet de les calculés :

$$U_e = \left(\frac{\lambda}{L}\right) \frac{A_c}{A_l} = \frac{1}{R_{eq}} \left(\frac{A_c}{A_l}\right)$$

Avec: A_c (la surface du capteur) = $2 \times 1 = 2 \text{ m}^2$

A_l (la surface des côtés du capteur) = $(2 \times 0,1) \times 2 + (1 \times 0,1) \times 2 = 0,6 \text{ m}^2$

$$R_b = \frac{e_b}{\lambda_b} = \frac{0,025}{0,14} = 0,179 \text{ m}^2 \text{ C/W}$$

$$R_p = \frac{e_p}{\lambda_p} = \frac{0,04}{0,039} = 1,026 \text{ m}^2 \text{ C/W}$$

$$R_l = \frac{e_l}{\lambda_l} = \frac{0,02}{0,035} = 0,571 \text{ m}^2 \text{ C/W}$$

$$R_{eq} = R_b + R_p + R_l = 0,179 + 1,026 + 0,571 = 1,1776 \text{ m}^2 \text{ C/W}$$

$$U_e = \frac{1}{R_{eq}} \left(\frac{A_c}{A_l}\right) = \frac{1}{1,1776} \left(\frac{2}{0,6}\right) = 2,831 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

- Le Rendement

$$\eta = \frac{Q_u}{I_c A_c}$$

En premier on commence par calculer la puissance utile :

$$Q_u = A_c [I_c \eta_0 - U_t (T_{p,m} - T_a)]$$

On a :

- $I_c = 515,25 \text{ W/m}^2$
- $\eta_0 = 0,84$

$$Q_u = 2 [515,25 \cdot 0,84 - 4,4(72 - 24)] = 443,22 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{443,22}{515,25 \cdot 2} = 0,43 = 43\%$$

Deuxième jours (09/05/2016)

-Les pertes vers l'avant avec $I_c = 407,14 \text{ w/m}^2$:

Avec les paramètres suivant:

$$T_a = 21,4 \text{ } ^\circ\text{C} + 273,15 = 294,55 \text{ K}$$

$$T_{p,m} = 55,89^{\circ}\text{C} + 273,15 = 329,04\text{K}$$

$$\beta = 34^{\circ} (\text{l'inclinaison du capteur})$$

$$\xi_p = 0,9 (\text{émissivité de l'absorbeur})$$

$$\xi_g = 0,88 (\text{émissivité du vitrage})$$

$h_w = 5,67 + 3,86V$ avec V La vitesse moyenne du vent dans la journée et elle est estimée à 0,9 m/s.

$$f = (1 + 0,089h_w - 0,1166 h_w \xi_p) (1 + 0,07866N) = 0,92$$

$$c = 520(1 - 0,000051 \beta^2) = 489,34$$

$$e = 0,43 \left(1 - \frac{100}{55,89} \right) = -0,34$$

Avec ses résultats nous obtenons $U_t = 4,73 \text{ w/m}^2\text{K}$

-Le Rendement

$$\eta = \frac{Q_u}{I_c A_c}$$

En premier on commence par calculer la puissance utile :

$$Q_u = A_c [I_c \eta_0 - U_t (T_{p,m} - T_a)]$$

On a :

- $I_c = 407,14 \text{ W/m}^2$
- $\eta_0 = 0,84$

$$Q_u = 2 [407,14 \cdot 0,84 - 4,73 (55,89 - 21,4)] = 357,71 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{357,71}{407,14 * 2} = 0,44 = 44\%$$

Troisième jours (10/05/2016)

-Les pertes vers l'avant avec $I_c = 449 \text{ w/m}^2$:

Avec les paramètres suivant:

$$T_a = 20,9^{\circ}\text{C} + 273,15 = 294,04 \text{ K}$$

$$T_{p,m} = 67,38^{\circ}\text{C} + 273,15 = 340,53\text{K}$$

$$\beta = 34^\circ (\text{l'inclinaison du capteur})$$

$$\xi_p = 0.9 (\text{émissivité de l'absorbeur})$$

$$\xi_g = 0.88 (\text{émissivité du vitrage})$$

$h_w = 5.67 + 3.86V$ avec V La vitesse moyenne du vent dans la journée et elle est estimée à 0.89 m/s.

$$f = (1 + 0.089h_w - 0.1166 h_w \xi_p) (1 + 0.07866N) = 1,93$$

$$c = 520(1 - 0.000051 \beta^2) = 489.34$$

$$e = 0,43 \left(1 - \frac{100}{67,38} \right) = -0,21$$

Avec ses résultats nous obtenons $U_t = 2,81 \text{ w/m}^2\text{K}$

- Le Rendement

$$\eta = \frac{Q_u}{I_c A_c}$$

En premier on commence par calculer la puissance utile :

$$Q_u = A_c [I_c \eta_0 - U_t (T_{p,m} - T_a)]$$

On a :

- $I_c = 407,14 \text{ W/m}^2$
- $\eta_0 = 0,84$

$$Q_u = 2[449 \cdot 0,84 - 2,81(67,38 - 20,9)] = 538W$$

$$\eta = \frac{538}{449 * 2} = 0,59 = 59\%$$

- **Le Rendement moyen :**

$$\eta_{moy} = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3}{3} = 0,47 = 47\%$$

D'après les valeurs du rendement calculé pour une irradiation solaire 515,25 w/m², 449 w/m² et 407,14w/m² respectivement, on constate que le rendement en 449w/m² est de 59% plus important que celle des les deux

irradiations solaire. Cela peut être expliqué comme suit :

L’expression de la puissance utile contient deux termes, le premier concerne l’apport de l’irradiation solaire en tenant compte du rendement optique, c’est-à- dire la puissance nette au niveau de l’absorbeur. Le deuxième terme concerne les déperditions globales du capteur solaire. Si on augmente l’irradiation solaire alors la température de l’absorbeur augmente et par conséquent les pertes thermique du capteur augmentes et de ce fait, la puissance utile chute ce qui conduit à la chute du rendement du capteur.

A partir de ces valeurs, nous avons ainsi tracé l’évolution de la température en fonction de l’heure à trois différents points (T_e : Température d’entrée du capteur, T_s : Température de sortie du capteur et T_r : Température de réservoir).

❖ Premier jours (08/05/2016)

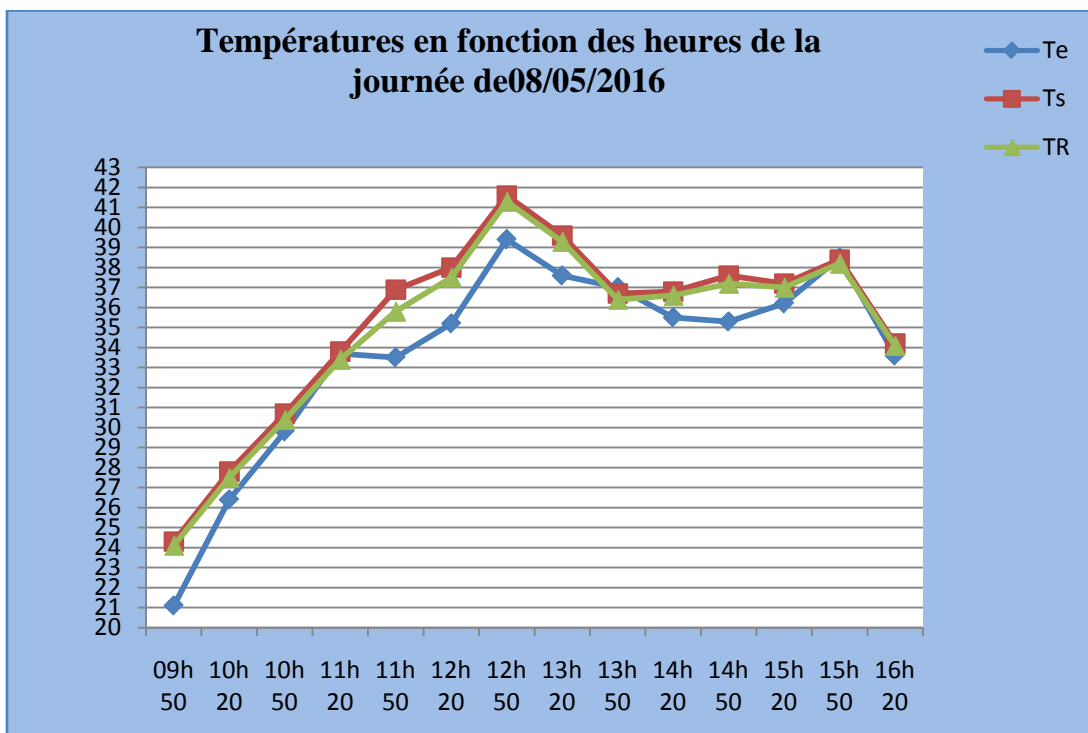


Figure3-19 Evolution des températures (T_e , T_s et T_R) en fonction du temps du premier jours

❖ Deuxième jours (09/05/2016)

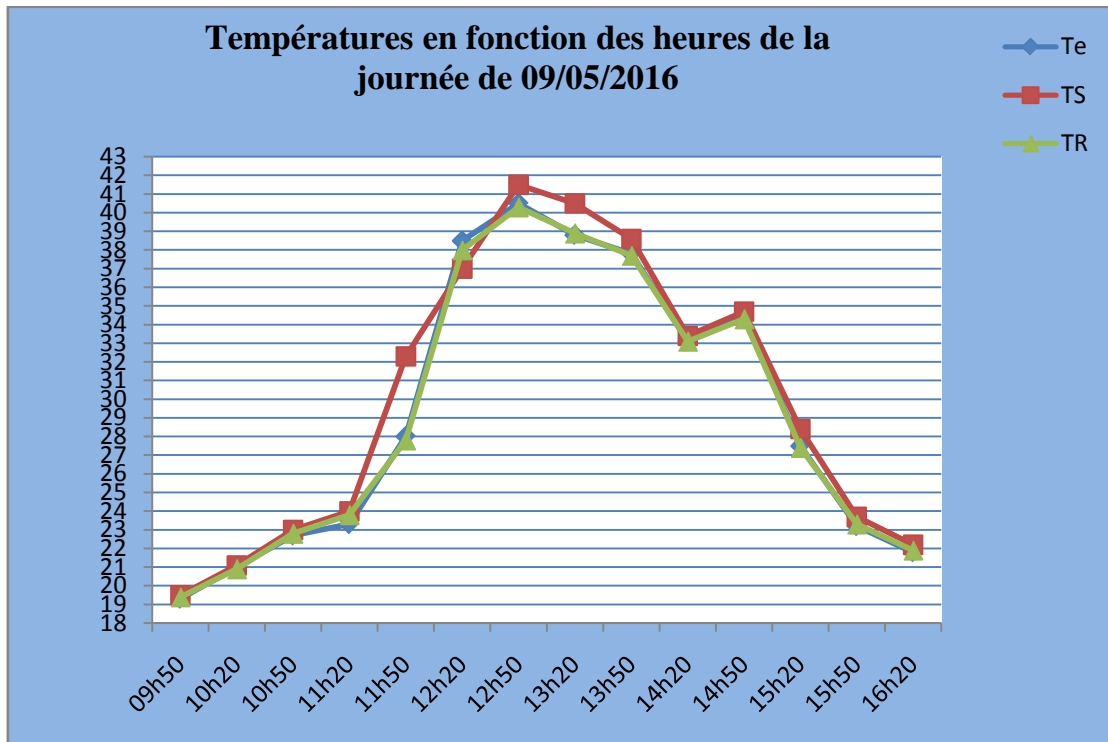


Figure3-20 Evolution des températures (T_e, T_s et T_r) en fonction du temps du deuxième jours

❖ Troisième jours (10/05/2016)

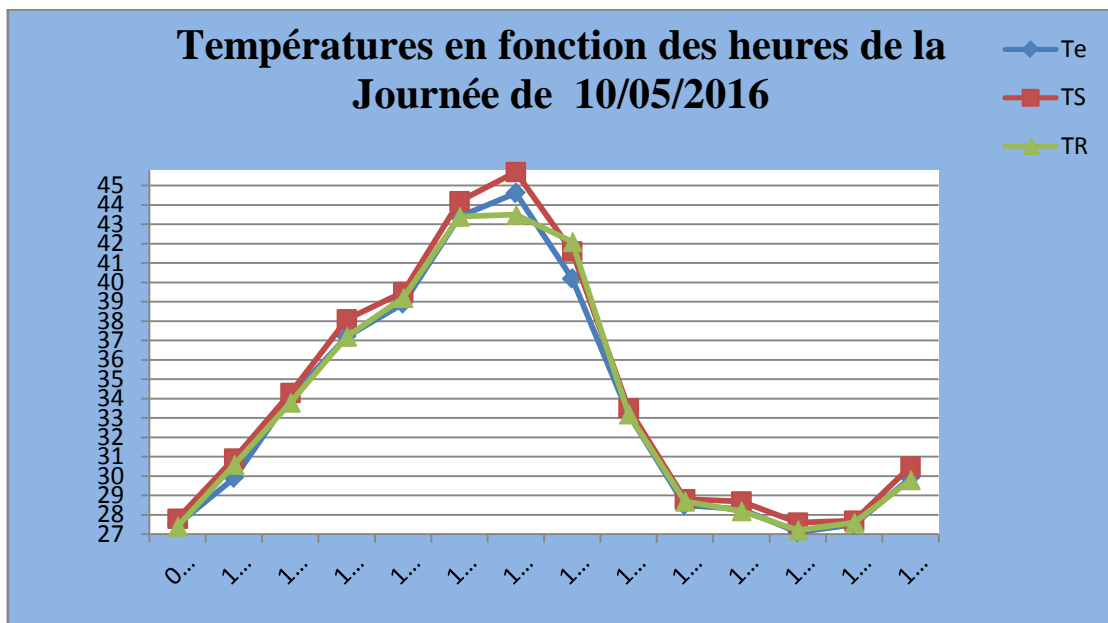


Figure3-21 : Evolution des températures (T_e, T_s et T_r) en fonction du temps du deuxième jours

La figure 3-18, La figure 3-19, La figure 3-20 illustre l'évolution de la température du fluide caloporteur à différents instants des 3 journées.

L'évolution croissante de la température du fluide caloporteur pour les différents points choisis sur le capteur solaire à partir de 09h50 jusqu'à 12h50.

Cette température atteint un maximum de 45,7°C à 12h50, et une brève instabilité de cette dernière entre 12h50 et 13h 30.

Evolution des trois irradiations solaires en fonction du temps

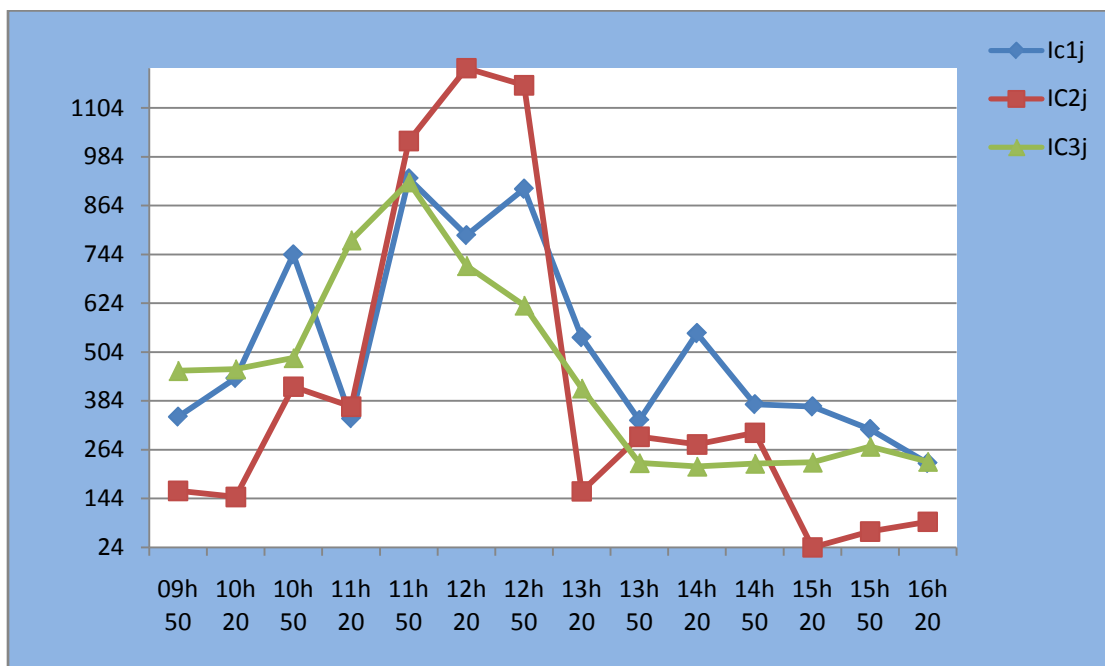


Figure 3-22 : Evolution des Irradiation solaire (I_{c1j} , I_{c2j} et I_{c3j}) en fonction du temps

- I_{c1j} : Irradiation solaire du premier jour
- I_{c2j} : Irradiation solaire du deuxième jour
- I_{c3j} : Irradiation solaire du Troisième jour

L'évolution croissante de l'irradiation solaire pour les différents du temps et pour les trois jours (à partir de 09h50 jusqu'à 12h50), atteint un maximum de 905w/m² à 12h50. Cela est dû à une bonne irradiation de la deuxième journée.

Comparaison des températures à l'entrée du capteur

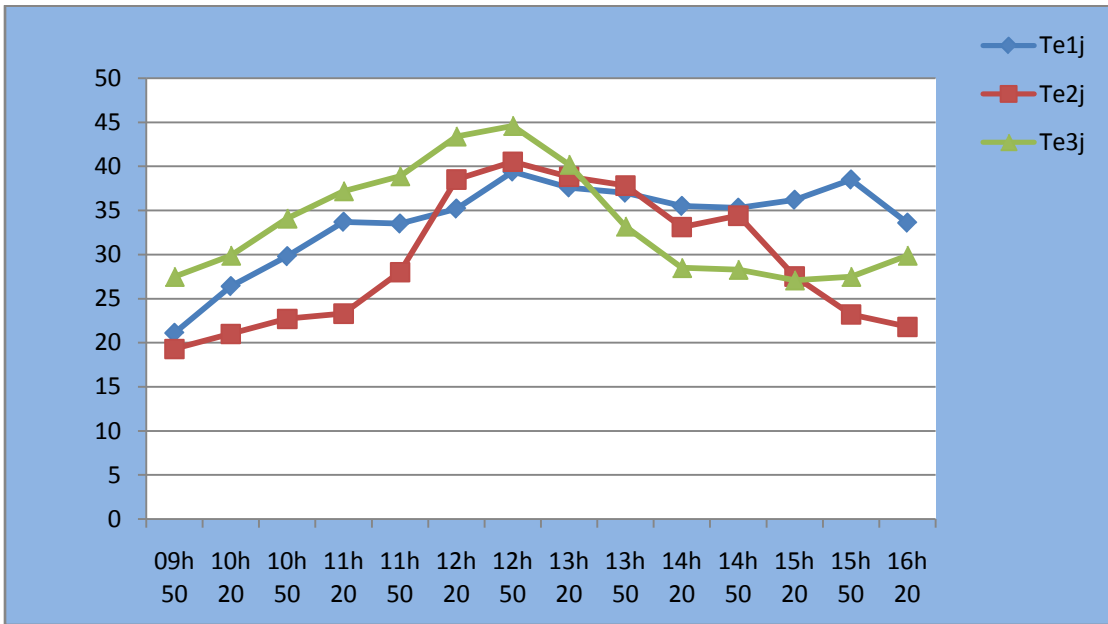
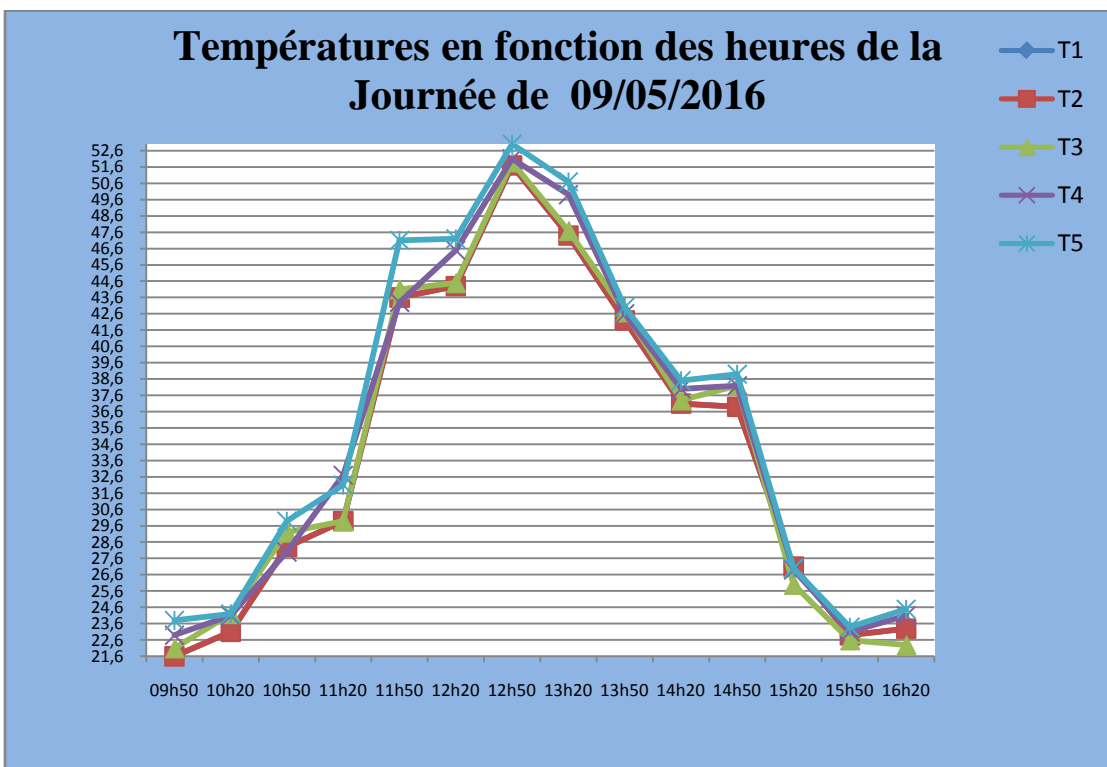
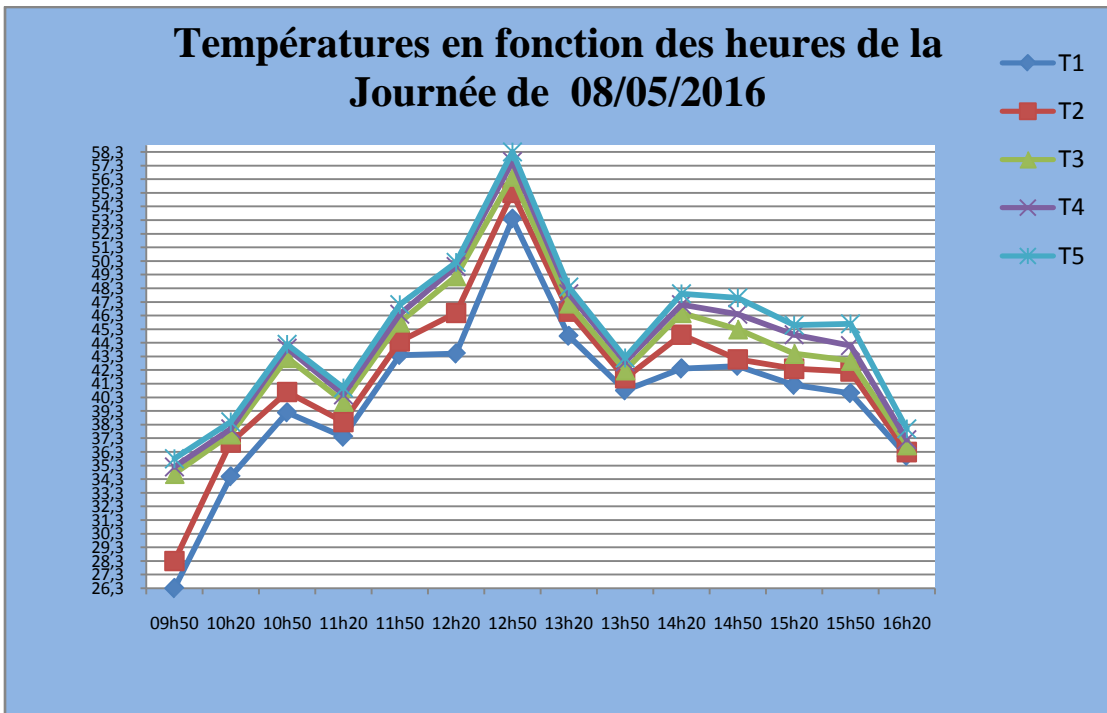


Figure 3-23 Evolution des températures d'entrée de capteur en fonction du temps

T_{e1j} : Températures d'entrée du premier jour

T_{e2j} : Températures d'entrée deuxième jour

T_{e3j} : Températures d'entrée Troisième jour



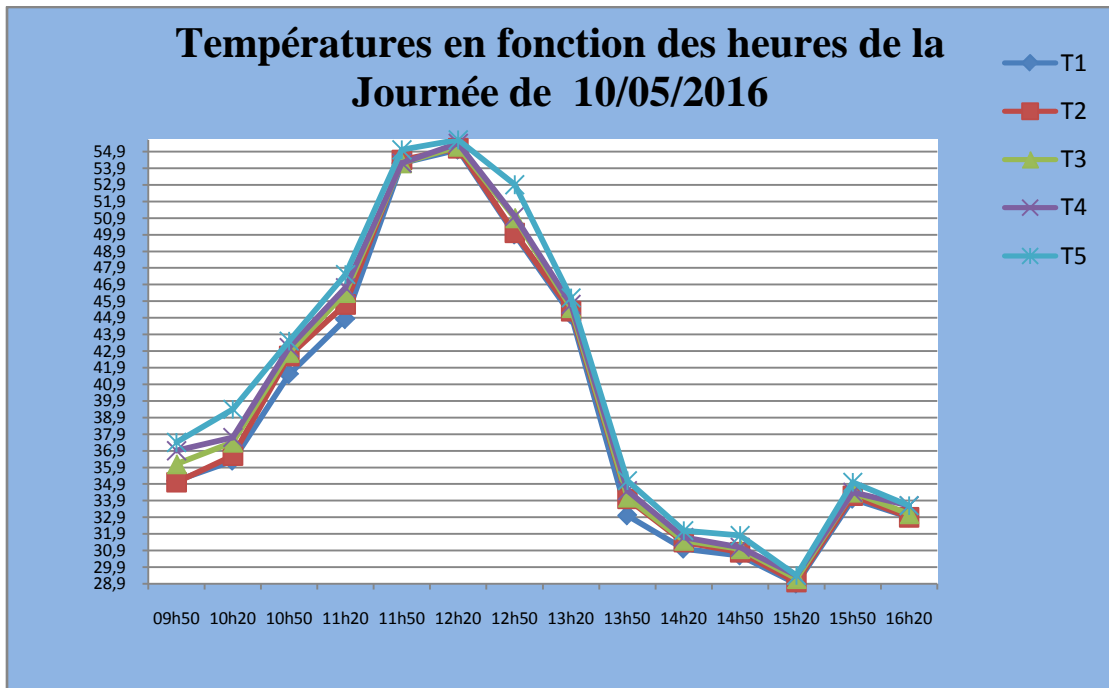
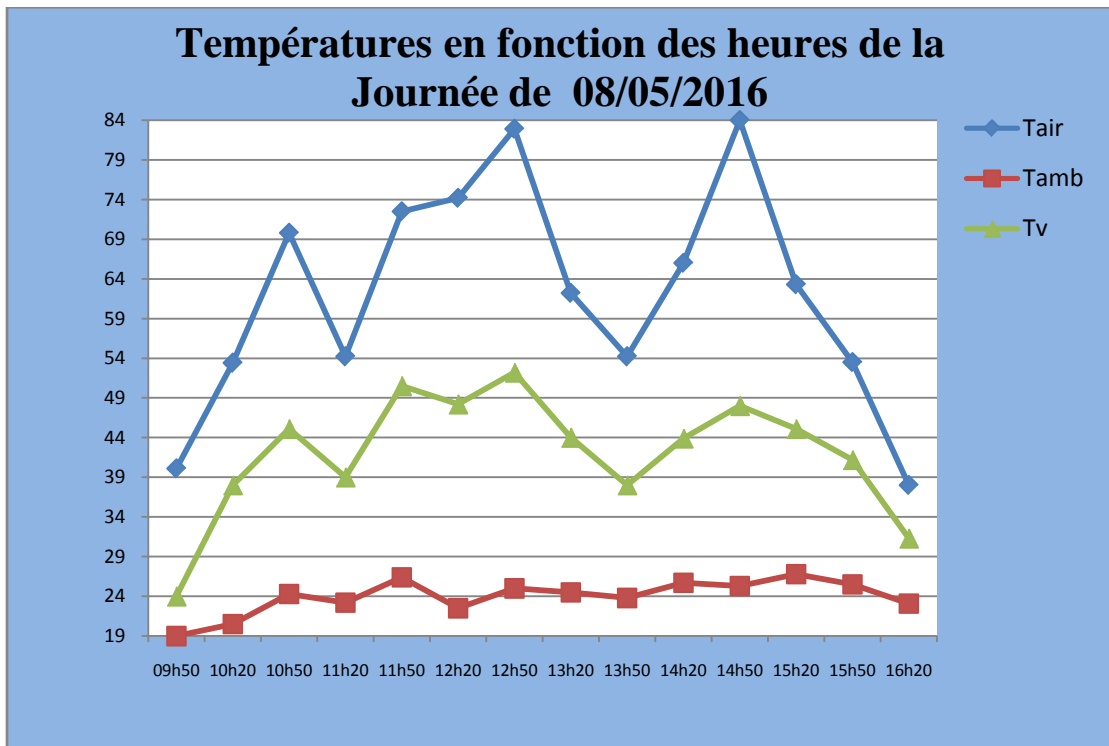


Figure3-24 Evolution des températures (T1 , T2 ,T3,T4et T5) en fonction du temps



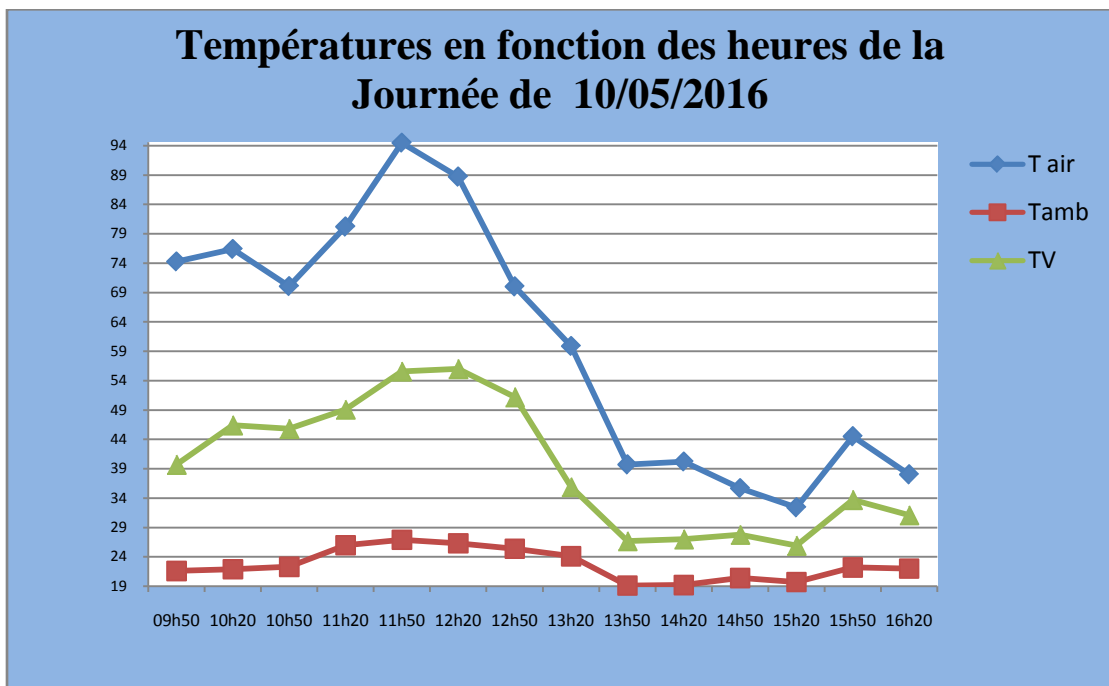
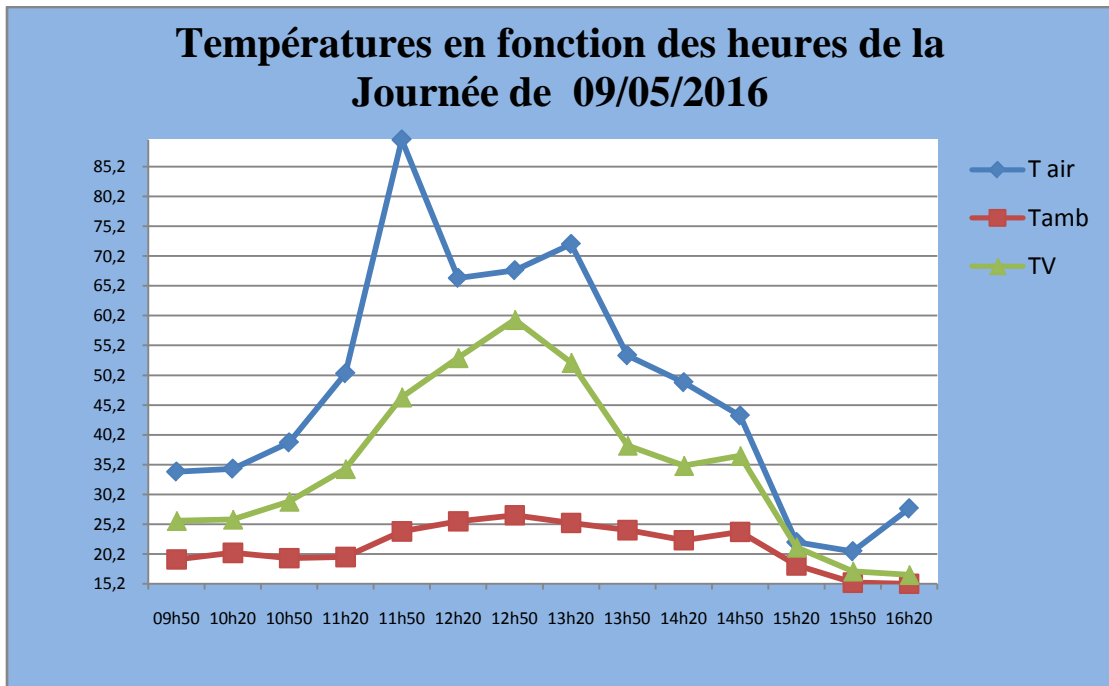


Figure3-25 Evolution des températures (Tair, Tamb et Tv) en fonction du temps

On voit que les températures augmentent jusqu'à un maximum vers 12h50 au niveau de l'entrée du capteur. Cette période correspondant à l'ensoleillement maximum.

L'évolution croissante de la température entrant le capteur (T_1, T_2, T_3, T_4, T_5) à partir de 09h50 jusqu'à 12h50 pour le Premier et le deuxième jours et à partir de 09h50 jusqu'à 12h20 pour la troisième jours .

La température maximale atteinte est dépendante de la journée plus précisément des conditions climatiques.

Notez que la température de l'air à l'intérieur du capteur est le plus important en raison du le phénomène de l'effet de serre.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail a pour but la réalisation d'un chauffe-eau solaire. Il a été réalisé au niveau de la faculté de technologie au sein de l'atelier de mécanique de l'université de Tlemcen.

Ce travail nous a permis d'étudier le comportement thermique du fluide caloporteur circulant à l'intérieur du capteur solaire et de déduire sa puissance et son rendement.

L'énergie thermique reçue est collectée et absorbée pour ensuite être utilisée au chauffage du fluide caloporteur pour l'utilisation.

Les quantités de chaleur récupérée par l'eau dépendent des bonnes performances et de la conception du capteur.

L'étude de l'influence du flux solaire sur les performances thermiques et par conséquent sur les températures prélevées en différents points du capteur représente la partie importante de ce travail. Nous avons pu observer une augmentation de la température à l'intérieur du capteur jusqu'à $45,7^{\circ}$. Ce résultat pourrait être fortement augmenté en minimisant les pertes vers l'avant du capteur et en éliminant les pertes par convection entre l'absorbeur et le vitrage en créant le vide.

D'après les résultats obtenus des conductances thermiques (les pertes vers l'avant) par rapport à la variation de l'irradiation solaire, on constate que cette dernière varie peu. On peut donc conclure que la conductance globale thermique du capteur est presque constante.

BIBLIOGRAPHE :

- [1] Mémoire de fin d'études : Etude et comparaison entre le stockage thermique par la chaleur sensible et le stockage thermique par la chaleur latente. Présenté par : MALEK Abdenebi , 15 / 06 / 2015(Tlemcen)
- [2] Mémoire de fin d'études : Etude Et Realisation D'un Capteur Solaire Plan A Eau.(Présenté par : Bouguima Adel Abdelhadi /Abbou Kamel).2014-2015(Tlemcen)
- [3] <http://www.Soleil.EnImages.Dinosoria.htm> (le 9 avril 2015 à 11:50)
- [4] Formation Presentation Des Technologies Solaires Fcia093.
- [5] <http://www.outilssolaires.com/glossaire/prin-1geometrie.htm> (le 11 avril 2015 à 15:05)
- [6] Mémoire de fin d'études : Etude des caractéristiques de fonctionnement et de la performance d'un Distillateur solaire; thèse de magistère, Présenté par : O. Sotehi ; Université de Constantine. (2009).
- [7] J. A. Duffie; W, A, Beckman. Solar engineering of thermal processes, John Wiley And Sons. (1980).
- [8] M. Capderou. Atlas solaire de l'Algérie, O.P.U, Alger. (1985).
- [9] A. Mefti; M, Y, bouroubi; H, Mimouni. Evaluation du potentiel énergétique solaire,Bulletin des Energies Renouvelables, N°2, p 12, décembre. (2002)
- [10] K. Merzouk. Potentiel énergétique éolien, Bulletin des Energies Renouvelables, N°1, Juin. (2002).
- [11] Ch. Perrin de Brichambaut; C, Vauge. Le gisement solaire, Technique et Documentation, Paris. (1982).
- [12] J. Bonal; P, Rossetti. Les énergies alternatives, Omniscience. (2007).
- [13] U. Eiker. Solar technologies for buildings, John Wiley and Sons, England.(2001).
- [14] J. Bernard. Energie solaire calculs et optimisation, ellipseedition Marketing. (2004).
- [15] P. H, Communay. Héliothermique : le gisement solaire, méthodes et calculs, Groupe De Recherche et d'Edition, France. (2002).
- [16] www.solarpedia.fr(le 9 avril 2015 à 12:49)

- [17] Mémoire de fin d'études : Développement d'un procédé de stockage d'énergie thermique haute température par voie thermochimique Présentée par : Pierre PARDO.
- [18] Le solaire thermique — Solarpedia
- [19] Les différents concepts de capteurs à tubes sous vide.htm
- [20] Guide de SOLAIRE THERMIQUE Les capteurs à concentration.htm
- [21] Enea Consulting 89, rue Réaumur 75002 Paris France , www.enea-consulting.com
- [22] Mémoire de fin d'études : Etude du stockage et déstockage dans un matériau à changement de phase Présenté par : Amina akrouche Université M'Hamed BOUGARA Boumedes
- [23] Thierry CABIRO L Albert PELISSOU - Daniel ROUX
« L'isolateur Plan A Effet de Serre Et Le Chauffage Eau Solaire » Edisud, Aix-En-Provence 1978.
- [24] Mémoire De Fin D'étude : Equipement Du C.F.P Dakar - Marine D'un Chauffe-Eau Solaire Pour La Production D'eau Chaude Sanitaire Présenté par Salif GAYE – Ma Madou Syll KEBE Ensut (Ucad) 1986.
- [25] R. Bernard - g. Menguy - m. Schwartz « le rayonnement solaire ; conversion thermique; et Applications » Technique & Documentation Lavoisier, 2^e édition augmentée 1980.
- [26] Paul DEMBA « Plomberie Et Installations De Tuyauteries Industrielles » Note De Cours, Ecole Supérieure Polytechnique (Esp) Centre De Thies 2007.
- [27] Mémoire De Fin D'étude : Guide De L'énergie Solaire Le Solaire Thermique Au Service Du Développement Durable Présenté par : Abdelhamine Benallou - Jacques Bougard .
- [28] Henri Charlent « Traité De Plomberie » Dunod, 14^e édition révisée en 1984.
- [29] Y. JANNOT, Thermique solaire, janvier 2008.

ملخص

هذا البحث عبارة عن إنجاز مسخن ماء يعمل بالطاقة الشمسية، تمت دراسته من ناحية الحرارة الملتقطة والضائعة والمردود، وقد تم صنعه يدويا في جامعة التكنولوجيا كذلك كل التجارب المأخوذة و رغم كل العراقيل والصعوبات والتغيرات المناخية إلا أن العمل قد تم انجازه علي أحسن حال والحمد لله .

Résumé

Dans notre travail nous avons voulu réaliser un chauffe-eau solaire puis étudier ces performances (température reçue, pertes thermiques et le rendement). Ce dernier a été fabriqué artisanalement au sein de la faculté de technologie et les essais ont été faits eux aussi au niveau de la faculté ; Nous avons eu beaucoup de contraintes météorologiques et techniques. Malgré tous, nous avons pu présenter un travail convenable avec de bons résultats.

Abstract

In our work we want to create a water heater solar and study its performance (received temperature, thermal losses and yield), it's was handcrafted within the Faculty of Technology and the tests were also made at the faculty, we had a lot of constraints meteorological and technical Despite all, we could have a decent job and had good results.