République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Yahia Farés De Médéa

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème

Etude d'un chauffe-eau a énergie solaire

Présenté par

- **ZOBIRI SEIF EDDINE**
- **LARBI MOHAMED**

Encadré par

- **Mr S. ABUDURA**

(Master : Energie renouvelable, option : énergie renouvelable en mécanique)

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

Avant tout, on remercie le bon dieu, le tout puissant de nous avoir donné la force nécessaire pour mener à terme ce travail.

Ensuite, nous voulons exprimer notre reconnaissance aux directeurs de ce mémoire Mr ABUDURA pour leurs encadrement efficace, leurs soutiens et disponibilités. Qu'elles trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

On tient à remercier vivement les membres de nos familles qui nous ont toujours encouragé et soutenue.

On remercie, tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire, de même ceux qui ont participé à notre formation, qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Enfin, sans oublier on remercie le président de jurys Mr HENINI NOUR EDDINE et les examinateurs Mr CHIBA YOUNES et Mr KHAZRAN MOUHAMED qui nous feront l'honneur de juger ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui m'ont encouragé à donner le meilleur de moi-même, et qui m'ont fourni Les moyens d'être ce que je suis aujourd'hui.

Je le dédie aussi à ma sœur, à mes frères et à toute la famille Zobiri, Brikci-tani et Nedjari, à tous mes camarades et amis, à mon collègue Larbi Mohamed et sa famille. Je leurs souhaite Une vie pleine de succès. Que dieu les garde tous.

A ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Z .Seif

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Résumé

Nomenclature

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Etude bibliographique

Historique de l'énergie solaire..... 2

Étude bibliographique.....3

I .2.1. Bibliographie concernant les performances thermique 3

I .2.2. Bibliographie concernant le thermosiphon..... 4

Synthèse bibliographique.....5

Chapitre II : Energie solaire et ses applications

Introduction 6

II.1Le gisement solaire.....6

Le soleil 6

Mouvement de la terre autour du soleil 6

Constante solaire..... 7

Coordonnées géographiques d'un site 7

Laltitude 7

Longitude (Ψ)..... 7

L'altitude (Z)..... 7

Coordonnées du soleil par rapport à un observateur 8

.Repère équatorial 8

Repère horizontal.....9

Orientation d'un plan..... 9

L'inclinaison du plan (β) 10

L'azimut du plan (déviation azimutale)(a) 10
L'angle d'incidence (θ) 10
Paramètres de temps 10
Temps solaire vrai (*Tsv*) 10
Temps solaire moyen (*Tsm*) 10
Temps universel (*Tu*)… 11
Temps légal (*Tl*) 11
Rayonnementsolaire 11
Rayonnement direct 11
Rayonnement diffus… 12
Rayonnement réfléchi… 12
Rayonnement global…. 12
Potentiel solaire en Algérie 13
Les applications de l'énergie solaire 14
Chauffe-eau solaire 14
L'énergie photovoltaïque 14
L'effet photovoltaïque 14
Le principe de la conversion… 14
La cellule photovoltaïque…. 15
Avantages et Inconvénients de l'Énergie Photovoltaïque 17
Conclusion 18

Chapitre III : Etude du chauffe-eau solaire

Introduction 19
III .1.1.Chauffe-eau solaire 19
III .1.1.1.Types de chauffe-eau solaie 19
III .1.1.2.Composants d'un chauffe-eau solaire 21
III .1.1.3.Fonctionnement d'un chauffe-eau solaire «thermosiphon» 28
III .1.1.4.Avantages et inconvénients d'un chauffe-eau solaire 29
Systèmes à étudier…. 29
Chauffe-eau solaire étudié 29
Conclusion… 30

Chapitre IV : Modélisation thermique, simulation et résultats

Introduction 31
Rappels sur les transferts de chaleur 31
Conduction 31
Convection 32
Rayonnement 32
Description du chauffe-eau solaire étudié 33
Modélisation du chauffe-eau solaire 34
Modélisation du capteur solaire plan 32
Modélisation du réservoir de stockage avec échangeur de chaleur 39
Simulation du chauffe-eau solaire 41
Déroulement des tests expérimentaux 43
Conclusion 44
Conclusion générale 45
Références bibliographiques
Annexes

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui m'ont encouragé à donner le meilleur de moi-même, et qui m'ont fourni Les moyens d'être ce que je suis aujourd'hui.

Je le dédie aussi à ma mère mon père Khaled et Nassira à mes sœurs mon frère, et à toute la famille Larbi et Taoussi à tous mes camarades et amis, à mon collègue Zobiri Seif eddine et sa famille. Je leurs souhaite Une vie pleine de succès. Que dieu les garde tous.

A ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

L.Med

Résumé

Titre : Etude d'un système à énergie solaire.

Résumé :

Les performances journalières d'un chauffe-eau solaire dépendent des paramètres thermo physiques du fluide caloporteur (température d'entrée et de sortie du fluide, température de stockage…), des constituants du système (coefficient de pertes globale), la tuyauterie et la cuve de stockage, et des paramètres météorologiques et radiométriques (rayonnement solaire, température ambiante…), l'objectif est de faire une simulation d'un chauffe eau a énergie solaire , durant notre étude on a remarqué que pour avoir de soutirage il faut que le niveau de l'eau à l'intérieur de la cuve soit obligatoirement supérieur au niveau de la sortie d'eau chaude.

Mots clés : système solaire, photovoltaïque, chauffe eau solaire.

Title : Study of a solar energy system.

Abstract :

The daily performance of a solar water heater depends of the thermo physical parameters of the coolant (fluid inlet and outlet temperature, storage temperature, etc.), the constituents of the system (overall loss coefficient), the piping and the tank storage, and meteorological and radiometric parameters (solar radiation, ambient temperature ...), the objective is to make a simulation of a solar water heater , during our study it was noted that to have a racking it must be that the level of water inside the tank is necessarily higher than the level of the output of hot water,

Key words :solar system, photovoltaic, solar water heater.

ملخص

يعتمد الأداء اليومي لسخان المياه الشمسي على المعلمات الحرارية الفيزيائية لمائع نقل الحرارة (درجة حرارة مدخل ومخرج المائع ، ودرجة حرارة التخزين ، وما إلى ذلك) ، ومكونات النظام (معامل الخسارة الكلي) ، والأنابيب و صهريج التخزين ، ومعلمات الأرصاد الجوية والإشعاعية (الإشعاع الشمسي ، ودرجة الحرارة المحيطة ، وما إلى ذلك) ، الهدف هو إجراء محاكاة لسخان المياه الذي يعمل بالطاقة الشمسية ، خلال دراستنا لاحظنا أنه من الضروري أن يكون هناك أرفف يجب أن يكون مستوى الماء داخل الخزان أعلى من مستوى مخرج الماء الساخن.

Nomenclature

ECS : Eau chaude sanitaire.

CESI : Chauffe-eau solaire individuelle.

CES : Chauffe-eau solaire.

PV : Photovoltaïque.

STC : Conditions standards testes météorologiques.

DC : courant continue (direct courant).

AC : courant alternatif (alternatif courant).

EA : Enroulement auxiliaire.

EP : Enroulement principale.

f.m.m : Force magnétomotrice.

f.e.m : Force électromotrice.

MASMCP : Machine asynchrone monophasé à condensateur permanent.

I : Constante solaire (W/m²).

I_0 : Valeur moyenne de la constante solaire (W/m²).

J : Numéro du jour de l'année (1^{er} janvier=1).

δ : Déclinaison du soleil (°).

ω : Angle horaire (°).

Φ : Latitude (°).

Ψ : Longitude (°).

Z : Altitude (m).

h : Hauteur du soleil (°).

a : Azimut (°).

β : Inclinaison du plan (°).

θ : Angle d'incidence (°).

Tsv: Temps solaire vrai (°).

Tsm: Temps solaire moyen (h).

Et : Terme correctif appelé équation de temps (min).

Tu : Temps universel (h).

Tl : Temps légal (h).

C_1 : Décalage horaire par rapport au Greenwich (h).

C_2 : Correspond à l'heure d'été et d'hiver (h).

Φ: Flux de chaleur transmis par conduction, convection ou rayonnement (W).

Nomenclature

λ : Conductivité thermique du milieu (W/m°C).

x : Variable d'espace dans la direction du flux (m).

S : Aire de la surface (m²).

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection (W/m²°C).

T_p: Température de surface du solide (°C).

T_∞: Température de fluide environnant (°C).

σ : Constante de Stefan Boltzmann (5,67 10^{-8}W/m²K⁴).

ε_p : Facteur d'émission de la surface.

T_{in} : Température du fluide pénétrant dans le collecteur (°C).

T_c : Température du fluide sortant du collecteur (°C).

A_c : Surface du collecteur (m²).

E_s : Irradiation dans le plan du collecteur (W/m²).

$\dot{m}$: Débit massique du fluid (kg/s).

U : Coefficient de perte de chaleur du collecteur (W/m²K).

E : L'énergie totale (J). U

U * : Énergie interne (J).

K : Énergie cinétique(J).

P : Énergie potentielle (J).

Q_s : Énergie solaire absorbée par la plaque absorbante (W).

τ: Transmittance de la couverture du collecteur.

α: Absorbance de la plaque du collecteur.

Q_l : Perte de chaleur du collecteur (W).

T_{abs} : Température de la surface de la plaque absorbante (°C).

T_a : Température ambiante (°C).

Q_f : Chaleur absorbée par le fluide (W).

c : Capacité thermique spécifique du fluide (J/kgK).

ρ : Densité du fluide (kg/m^3).

V : Le volume du fluide dans le collecteur (m^3).

F_c : Débit volumétrique du capteur (m^3/s).

Nomenclature

ρ in, ρ out : Densité de fluide à l'entrée / sortie du capteur (kg/m^3).

c_{in} , c_{out} : Capacité thermique spécifique du fluide à l'entrée / sortie du capteur (J/kgK).

T_{av} : Température moyenne du fluide dans le collecteur (°C).

F: Facteur de transfert de chaleur ou d'évacuation de la chaleur.

$\eta 0$: Efficacité optique.

U_L : Coefficient de perte de chaleur globale (W/m²K).

C : Capacité thermique globale du fluide (J/K).

T_d : Température de l'eau fournie au ballon (°C).

T_1 : Température du liquide qui retourne au capteur (°C).

T_S : Température de l'eau extraite (stockage) (°C).

F_1 : Débit volumétrique qui rentre dans la cuve (m^3/s).

V_{st}: Volume de la cuve de stockage (m^3).

$A_é$: Surface de l'échangeur (m²).

U_c : Coefficient de transfert de chaleur de l'échangeur.

E_{Sref}: Eclairement sous conditions STC (W/m²).

T_{jref}: Température sous conditions STC (°C).

T_j : Température de jonction (°C).

$Noct$: Température nominale de fonctionnement de la cellule ou du module solaire (°C).

I_{0d} : Courant de saturation de la diode (A).

q : Charge élémentaire ($1{,}16.10^{-19}$ C).

k : Constante de Boltzmann.1,38 10^{-23} (J/K).

A : Coefficient de l'idéalité de la cellule.

N_S : Nombre totale de cellule connectées et série et/ou en parallèles.

Eg: Energie de gap ($1{,}76 .10^{-19}$).

R_S : Résistance série (Ω).

R_p : Résistance parallèle (Ω).

P_1, P_2, P_3 et P_4 : Paramètres constants.

HMT : Hauteur totale du pompage (Hauteur manométrique) (m).

Nomenclature

H_g : Hauteur statique (Hauteur géométrique) (m).

$\sum pertes$: La somme de pertes linéaires et singulières (m).

λp : Coefficient de pertes de charges linéaires.

L : Longueur de la tuyauterie (m).

D : Diamètre de la tuyauterie (m).

g: Accélération de la pesanteur (m/s²).

v : Vitesse moyenne du fluide (m/s).

Q : Débit volumétrique (m^3/s).

εs: Coefficient de pertes de charges locales.

K_{fr}: Constante de la canalisation.

Cr : Couple résistant (Nm).

K_r : Coefficients de proportionnalité.

C_s : Le couple statique (Nm).

ΔH_1 et ΔH_2 : successivement pertes de charges linéaires et singulières (m).

P_{mec} : Puissance mécanique de la pompe(W).

P_h : Puissance hydraulique de la pompe(W).

V_{bat} : Tension de la batterie(V).

I_{bat} : Courant de la batterie(A).

E_b : La force électromotrice fonction de l'état de charge de la batterie (V).

R_b : La résistance interne, variable en fonction de l'état de charge (Ω).

Vs : Tension de sortie onduleur alternatif monophasé (V).

E : Tension continue (V).

n_{PV}: Nombre de panneaux PV.

P_{ch}: Puissance de la charge (W).

P_{PV}: Puissance du panneau PV (W).

f_s: Fréquence statorique (HZ).

P : Nombre de paire de pôles.

Ω_s : Vitesse angulaire statorique du moteur (rad/s).

Ω_r : Vitesse angulaire rotorique du moteur (rad/s).

Nomenclature

N_s : Vitesse de synchronisme du stator (tr/min).

N_r : vitesse de rotation du rotor (tr/min).

$[U]$: Vecteur de tension dans le référentiel (α,β).

$[I]$: Vecteur de courant dans le référentiel (α,β).

N_p : Nombre de spires réel del'E.P.

N_a : Nombre de spires réel del'E.A.

N_{bp} : Coefficient de bobinage del'E.P.

N_{ba} : Coefficient de bobinage del'E.A.

Mα: Inductance de magnétisation del'E.P.

Mβ: Inductance de magnétisation de l'E.A.

Lα: Inductance rotorique ramenée au nombre de spires de l'E.P.

Lβ: Inductance rotorique ramenée au nombre de spires de l'E.A.

$C_{e(\square)\square}$: Couple électromagnétique.

J : Moment d'inertie du rotor et des parties tournantes de la machine.

F : Coefficient de frottement visqueux.

r_s : Résistance statorique(Ω).

r_r: Résistance rotorique(Ω).

φs: Flux statorique (Wb).

φr : Flux rotorique (Wb).

ε: Efficacité de l'échangeur.

Q_u : Energie utile récupérée.

Q_p: Pertes globales de la cuve.

U_{cu} : Coefficient des pertes globales de la cuve (W/m²K).

A_{cu} : Surface de la cuve (m²).

η j: Rendement journalier.

Liste des figures

Chapitre II : L'énergie solaire et ses applications

Figure II.1 : Mouvement de la terre au tour du soleil 6
Figure II.2 : Coordonnées géographiques 8
Figure II.3 : Définition de la position de soleil (hauteur& azimut)..... 9
Figure II.4 : Les composantes du rayonnement solaire..... 12
Figure II.5 : Gisement solaire Algérie..... 13
Figure II.6 : Principe de la conversion photovoltaïque 15
Figure II.7 : Caractéristique courant tension d'une cellule photovoltaïque 16
Figure II.8 : Association de cellules en série 17
Figure II.9 : Association de cellules en parallèle 17

Chapitre III : Etude de chauffe-eau solaire

Figure III.1 : CESI monobloc..... 20
Figure III 2 : CESI à éléments séparés..... 20
Figure III.3 : CES à circulation forcée 20
Figure III.4 : CES à auto vidange..... 21
Figure III.5 : Composants d'un capteur plan vitré 22
Figure III.6 : Fonctionnement d'un capteur plan vitré..... 22
Figure III.7 : Capteur plan non vitré 23
Figure III.8 : Capteur sous vide..... 23
Figure III.9 : Raccordement des capteurs..... 25
Figure III.10 : Ballon de stockage..... 26
Figure III.11 : Echangeur sous forme d'un serpentin..... 27
Figure : III.12 Groupe de sécurité 27
Figure III.13 : Fonctionnement d'un CES à thermosiphon..... 28

Chapitre IV : Modélisation thermique, simulation et résultats

Figure IV.1 : Schéma du transfert de chaleur conductif..... 32
Figure IV.2 : Schéma du transfert de chaleur convectif..... 32
Figure IV.3 : Schéma du transfert de chaleur radiatif 33
Figure IV.4 : Chauffe-eau solaire étudié 34
Figure IV.5 : Bilan thermique d'un capteur solaire plan..... 34
Figure IV.6 : Bilan thermique autour d'un volume de contrôle 35
Figure IV.7 : Refixions et transmissions entre le vitrage et l'absorbeur 35
Figure IV.8 : Réservoir d'eau chaude avec un échangeur de chaleur (serpentin)..... 39
Figure IV.9 : Simulation de la variation des températures en fonction du temps… 41
Figure IV.10 : Simulation de la variation des températures en fonction du temps… 42

Liste des tableaux

Chapitre II : Energie solaire et ses applications

Tableau II.1 : Différents types de cellules avec leurs rendements 16

Introduction générale :

Les énergies renouvelables en générale, l'énergie solaire en particulier, représentent une des sources les plus prometteuses pour répondre aux besoins énergétiques mondiaux. L'énergie solaire a l'avantage d'être propre et renouvelable. Son développement et son utilisation pourraient alléger l'utilisation des sources d'énergies fossiles classiques (pétrole, gaz naturel, charbon) [27].
L'Algérie est classée comme l'un des pays les plus pourvus en énergie solaire mais également, un pays dont la base énergétique est essentiellement constituée par les hydrocarbures. Toutefois, les énergies renouvelables ne représentent malheureusement qu'un faible pourcentage dans le bilan énergétique national [26].
L'exploitation de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes : l'une produit des calories, c'est l'énergie solaire thermique, et l'autre produit de l'électricité par effet photovoltaïque [28].
La production d'eau chaude sanitaire se trouve parmi les applications les plus répondues et les plus performantes du solaire thermique, son histoire remonte assez loin, le chauffage étant un problème quotidien pour les populations des régions froides. La première idée était de placer un réservoir d'eau à l'extérieur pour le laisser chauffer au soleil, plus tard, le système s'est développé avec l'intégration de l'effet de serre, le réservoir était inséré dans un caisson en bois recouvert d'un vitrage, ainsi la température augmente rapidement. Aujourd'hui, le chauffe eau solaire a vu une nette amélioration, que ce soit sur les plans techniques, thermique ou esthétique, grâce aux recherches et développements [26].
Chez nous, le premier chauffe eau solaire algérien a vu le jour à la fin des années soixante- dix, ce dernier était constitué de deux capteurs de forme carré et d'une cuve cylindrique verticale [26].
Pour ce faire, notre étude est structurée en quatre chapitres :
L'exploitation de l'énergie solaire nécessite une certaine connaissance, pour cette raison dans le premier chapitre, on va présenter une étude bibliographique qui raconte brièvement sur l'historique de l'énergie solaire.
Le second chapitre on va présenter des généralités sur l'énergie solaire et ses applications, le troisième chapitre on va parler sur les types, le fonctionnent et l'avantage d'un chauffe eau solaire, et on va citer le model étudié, le quatrième chapitre sera consacré pour la modélisation, la simulation et les résultats ainsi que la conclusion générale sur notre recherche.

Chapitre I

Etude bibliographique

1.1. Historique de l'énergie solaire :

Le fonctionnement des panneaux solaires thermiques est basé sur le phénomène par le quel les objets touchés par les rayons du soleil se réchauffent ; la chaleur ainsi produite peut être recueillie et conservée pour une utilisation ultérieure.
Les corps clairs reflètent la lumière alors que les corps sombres l'absorbent en se réchauffant.
Faisons un bref parcours historique au fil des siècles pour voir comment l'énergie solaire a pu être exploitée avant d'arriver à la technologie actuelle.
La première utilisation non passive répertoriée de l'énergie solaire thermique par l'homme remonte à 212 avant .J.C. quand **Archimède** concentra l'énergie du soleil afin d'enflammer les navires romains. Des scientifiques ont cependant ensuite mis en doute la faisabilité technique d'une telle méthode.
Plus de 17 siècles plus tard, en 1561, **Adam Lonitzer** évoque un procédé utilisé par les alchimistes utilisant l'énergie du soleil concentrée dans le but d'élaborer des parfums.
En 1615, **Salomon de Gauss** construit une pompe solaire, utilisant de l'air chauffé avec le rayonnement solaire.
En 1747, **Buffon** expérimente un miroir dont les nombreuses glaces concentrent la lumière du soleil vers le même point : il arrive ainsi à faire fondre un morceau d'argent (dont la température de fusion est de 1044°C).
Un premier type de panneau solaire, dit héliomètre, fut inventé en 1767 par **Horace-Bénédict** de Saussure, un physicien suisse. Il s'agissait d'un récipient en bois qui était utilisée par les premiers pionniers américains pour cuisiner lors des longs voyages vers l'ouest. Le récipient atteignait une température de 109°C grâce à un système de trois couches de verre positionnées à une certaine distance l'une de l'autre sur la partie haute du récipient.
Dans les années 1780, il invente un instrument de mesure lui permettant d'étudier les effets calorifiques des rayons du Soleil, qu'il nomme « hélio thermomètre », il utilise l'effet de serre obtenu par un vitrage placé au-dessus d'un absorbeur dans un caisson isolé ; il crée ainsi les premiers capteurs solaires thermiques à basse température.
A la fin du **XVIIIème** siècle, Lavoisier construit un four solaire qui atteint la température de 1800°C. Pour cela, il concentre les rayons solaires à l'aide d'une lentille à liquide
En 1816, Robert Stirling invente le "moteur à air chaud" appelé aujourd'hui moteur Stirling.
En 1830, les publications **d'Edmond Becquerel** expliquèrent comment convertir la lumière en énergie utile. Mais le domaine du solaire ne commençait de se développer qu'après 1860 suite à l'invention du moteur solaire par **August Mouchet**. Puis, en 1870 l'innovateur **Williams Adams** utilisa des miroirs pour l'alimentation des engins à vapeur; ce concept continu à être utiliser à nos jours. C'est ce qu'on appelle **«les Tours Solaires».**
En 1884, **John Ericsson**, aux États Unis, créa le premier panneau parabolique pour produire de la vapeur.
Ces inventions furent ensuite révisées par des chercheurs comme **Frank Schuman** en 1906 qui construisit une installation en Égypte, constituée de concentrateurs d'une puissance d'environ 300 KW.
En 1891, **Kemp Clarence** est devenu le premier homme qui à breveter un système solaire thermique. **Kemp** commercialisa avec succès son invention. En 1897, un tiers des foyers à Pasadena en Californie, utilisèrent le chauffe-eau solaire.
En 1909, **le Californien Williams Bailey** eut l'idée de séparer le réservoir de stockage du capteur pour l'utilisation de l'eau chaude durant la nuit et c'est le prototype qu'on connait aujourd'hui. Bailey a breveté son invention en 1918. Il vendit plus de 4000 unités.
En 1912, le physicien Charles Vernon Boys inventa un capteur cylindre -Parabolique.

En 1913, on a vu naitre la première chaudière solaire, grâce à Schumann.
Le 20ème siècle a connu la naissance du solaire photovoltaïque. Ces années qui étaient marquées par les grandes découvertes scientifiques ont permis à **Daryl Chapon** et **Calvin Fuller** de développer la première cellule photovoltaïque. A cette époque, le solaire thermique passait par ces pires moments, car les énergies fossiles étaient abondantes et les gens s'en passèrent de son usage. Malgré ça, **Hottel** et **Woertz**(1), **Tabor** (2), **Rolland** (3), **Félix Trombe** (4 et autres) ont continué à développer les performances et à améliorer les installations.
Le 17 octobre 1973, était la date de la renaissance de l'énergie solaire.
Le réajustement des prix des produits pétroliers par une augmentation substantielle a poussé les États à rechercher d'autres sources d'énergie et à dépendre moins des ressources énergétiques fossiles. Ce qui a relancé de nouveau la recherche dans le domaine du solaire, particulièrement le solaire thermique.
Les objectifs étaient d'améliorer les rendements des installations solaires et de diminuer leur coût d'acquisition pour encourager les gens à adopter cette nouvelle énergie.
En 1982, Solar One, une centrale de 10 MW, démontre la faisabilité ainsi que la puissance d'une tour solaire. En 1988, dernière année de fonctionnement, ce système atteint une disponibilité « Rendement» de 96%.
On cite aussi les recherches qui ont été effectuées ces dernières années afin d'améliorer les performances énergétiques des installations solaires **(Buzas** et al, 1998) ;(**Mohs** en et al, 2002) ;(**Knudsen et al,** 2004) ; (**Essen et al** 2004); (**Mokhtari** et autres,2006).
Depuis ce domaine n'a cessé de se développer, surtout avec l'apparition des problèmes environnement aux dus à l'utilisation excessive des énergies fossiles qui sont la principale cause des émissions du C02, qui est le premier facteur du phénomène de l'effet de serre.

I.2. Etude bibliographique

1.2.1. Bibliographie concernant les performances thermique :

L'étude des paramètres qui influent sur les performances thermiques des chauffes eau solaires en particulier les capteurs solaires plans qui représentent le constituant principal de l'installation a fait l'objet de plusieurs recherches. Nous exposons quelques travaux disponibles dans la littérature qui traitent le côté thermique avec des études énergétiques en générale effectuées sur les capteurs solaires plans.
Ho-Ming Yeh et **Tong-Tshien** Lin (1995), ont étudié théoriquement et expérimentalement l'influence du rayonnement solaire capturé sur l'efficacité de capteur solaire. Ils ont trouvé que le taux du rayonnement solaire et la surface de contact entre l'absorbeur et le fluide caloporteur accroît avec l'augmentation de la surface du capteur, mais aussi elle augmente le coefficient des pertes thermiques entre la couverture et l'extérieur.
Les pertes de chaleur principales du capteur sont de la couverture, puisque les cotées et le dos peuvent être isolés, alors que la face avant doit être exposée au rayonnement solaire et à la température ambiante. C'est pour cela l'air est utilisé fréquemment comme une solution contre les pertes de chaleur conductives et convectives de l'absorbeur vers la vitre.
Selon **N. T. Ahmed** (2001), on peut réduire ces pertes en utilisant de l'isolation transparente (un film de bulles d'air).
A. Abene et al (2004) ont montré que la forme, les dimensions, l'orientation et la disposition de ces obstacles influents considérablement sur l'efficacité du capteur.
S.Youcef-Ali (2005) a montré dans une étude expérimentale, que la couverture triple donne des performances plus importantes que celle à double vitre grâce à la minimisation des pertes vers l'extérieur.
Turhan Koyuncu (2006), a aussi étudié expérimentalement l'influence du nombre des

couvertures, il a trouvé que ce facteur influe fortement sur l'efficacité du capteur.
Le verre est tout à fait intéressant comme couverture pour les dispositifs solaires, puisque il absorbe presque tout le rayonnement infrarouge réémis par l'absorbeur ayant pour résultats une amélioration de l'efficacité thermique du capteur par conséquent, du chauffe-eau solaire.
Mais son utilisation possède aussi des inconvénients qui sont, son coût élevé et sa fragilité pendant le transport et le service, c'est la raison pour laquelle, pendant plusieurs années des couvertures en plastique transparentes ont été appliquées largement pour construire des capteurs solaires de coût modéré et rigides.
Donation Njomo (2006) a souligné d'après une étude numérique, qu'un capteur avec double couverture de matière différente a des performances meilleures qu'un capteur à deux vitres de même matière.
L'influence de l'orientation d'un capteur et de son inclinaison avec l'horizontal est due au fait que ces deux dernières changent le rayonnement solaire atteignant la surface du capteur.
Huseyin Gunerhan et **Arif Hepbasli** (2007) ont trouvé que la meilleure orientation du capteur solaire est de l'orienter directement au sud.
Des chercheurs trouvaient que la température de sortie du fluide caloporteur, ainsi que le rendement thermique journalier du capteur, diminuent lorsque le débit d'eau augmente, par contre la température de sortie du fluide caloporteur ne croît pas de manière significative avec l'augmentation de sa température d'entrée, car les pertes thermiques du capteur augmentent rapidement quand la température de l'eau à l'entrée augmente, et le rendement thermique journalier du capteur décroît linéairement avec l'augmentation de la température d'entrée du fluide jusqu'à s'annuler. Ils observaient aussi, que la température de sortie du fluide caloporteur, ainsi que le rendement thermique journalier du capteur, décroissent continuellement quand on augmente la hauteur du canal d'écoulement du fluide.
Suleyman Karsali (2007) a illustré que l'allongement du capteur solaire influe fortement sur son efficacité. De ce fait, des chercheurs ont proposé d'augmenter le transfert thermique entre l'absorbeur et le fluide caloporteur (sans toucher les dimensions du capteur) par l'ajout des obstacles (ailettes) jointes à la face inférieure de l'absorbeur.
Abene et al, S. youcef-Ali (2007), selon ces auteurs, les obstacles peuvent augmenter la surface d'échange, réduire les zones mortes et créer la turbulence.
Un autre facteur influe sur l'efficacité du CES, c'est bien, la tuyauterie, qui est généralement soudée à la partie inférieure de l'absorbeur et des fois fait partie de l'absorbeur, sa forme diffère d'un capteur à un autre. Parmi ces différentes formes, la forme sinusoïdale est la plus efficace, puisque elle offre la plus grande surface d'échange et réduit les zones mortes, comme il est montré par **Marwa.M.Hassan** et **Yvan Beliveau** (2007).

I .2.2. Bibliographie concernant le thermosiphon :

Quelques études ont été effectuées concernant le mode de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire.
ONG (1974) a réalisé deux études pour évaluer l'exécution thermique d'un chauffage par thermosiphon. Il a équipé un système relativement réduit avec cinq thermocouples sur le fond des tubes de l'eau et six thermocouples sur le fond de la plaque collectrice. Un total de six thermocouples ont étaient insérés dans le réservoir de stockage et un mètre d'écoulement de la masse de traceur de colorant a été utilisé. Les études d'ONG semblent être les premières qui ont détaillé un système thermosiphon.

Kudisb(1985) dans son étude a mesuré le débit du thermosiphon directement en adaptant une technique de laboratoire simple et bien connue, un dispositif de niveau constant, a un capteur solaire en mode thermosiphon. Les données d'écoulement du thermosiphon recueillies ont été utilisées pour construire une courbe standard d'essai en mode thermosiphon. En outre, ils ont déterminé l'efficacité instantanée du collecteur en fonction du temps.
Morrison et Braun (1985) ont étudié des caractéristiques d'un modèle d'opération d'un système de chauffage par thermosiphon avec le réservoir de stockage vertical ou horizontal. Ils ont approximativement égal à l'écoulement quotidien de la charge, et le système avec réservoir horizontal n'a pas donné les mêmes résultats comme celui du vertical.
Zerrouki et Al (2002) ont analysé les caractéristiques du système de circulation naturelle tel que le débit massique, augmentation de la température du fluide et la plaque absorbante afin de valider les résultats expérimentalement avec le modèle théorique.
Belessiotis et **Mathioulakis**(2002) ont mené des expériences sur le thermosiphon et ont comparé les résultats avec la simulation. La méthodologie proposée a été jugée utile dans la phase de conception du système pour optimiser la préfinance. De même, la performance du système d'eau chaude a été analysée expérimentalement et les résultats validés à l'aide d'une simulation.

1.3. Synthèse bibliographique :

A travers cette étude bibliographique consacrée aux CES, nous avons pu constater que leurs performances dépendent essentiellement des paramètres thermo physiques, optiques et géométriques.

Les CES à double couverture de matières différentes ont de meilleurs performances qu'un CES à deux vitres de même matière et à un coup modéré et rigide.
La préservation du dimensionnement du CES et l'ajout des obstacles (ailettes) jointes à la face inférieur de l'absorbeur augmente le transfert de chaleur entre l'absorbeur et le fluide caloporteur et minimise les pertes thermiques.
Le chauffe-eau solaire à thermosiphon occupe une bonne position dans les applications domestiques en raison de sa facilité d'utilisation sans l'aide de toute l'énergie extrême.
Le thermosiphon devra être suffisamment "puissant" pour vaincre les pertes de charge, sans que la différence de température de l'eau entre la sortie du capteur et la sortie du ballon soit excessive.
Tous ces arguments scientifique ont milité vers une réduction de l'utilisation des énergies fossiles et, une utilisation plus étendue des énergies nouvelles à savoir le solaire thermique qui fera l'objet de notre étude particulièrement le capteur solaire thermique pour eau chaude (chauffes eau solaire).

Chapitre II : Energie solaire et ses applications

Introduction :

Abondante, inépuisable et non polluante, ce sont ces caractéristiques qui ont suscité l'intérêt a l'énergie solaire, malgré le cout d'exploitation lourd au départ (couts de l'installation que ca soit photovoltaïque, thermique ou hybride), qui fait qu'elle n'est pas totalement gratuite [1].
L'utilisation de cette énergie nécessite une certaine connaissance, pour cette raison, dans ce premier chapitre, quelques notions sur l'énergie solaire et ses applications seront définis.

II .1.Le gisement solaire :

Le soleil :

Le soleil est une sphère de plasma d'un diamètre de 1,39 106 Km, il est situé à une distance de la terre de 149,59 106 Km, composé de matières gazeuses, essentiellement de l'hydrogène et de l'hélium. Il est le siège de réactions de fusion nucléaires, permanentes, à chaque heure, le soleil consomme 10 milliards de tonnes d'hydrogène, et sa température de cœur atteint 107 K. L'émission des radiations solaires du soleil vers chaque coin dans l'espace apparait sous forme d'ondes électromagnétiques transportant de l'énergie à la vitesse de la lumière [2].

Mouvement de la terre autour du soleil :

La terre décrit auteur du soleil une trajectoire légèrement elliptique. Sa distance moyenne est de 149.6 millions de km, avec une variation de ± 1.7%. La terre traverse le grand axe de l'ellipse de 3 janvier (position la plus proche du soleil) et le 3 juillet (la plus éloignée du soleil). L'axe de rotation de la terre sur elle- même est incliné de 23° 27' par rapport au plan de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre) [3].

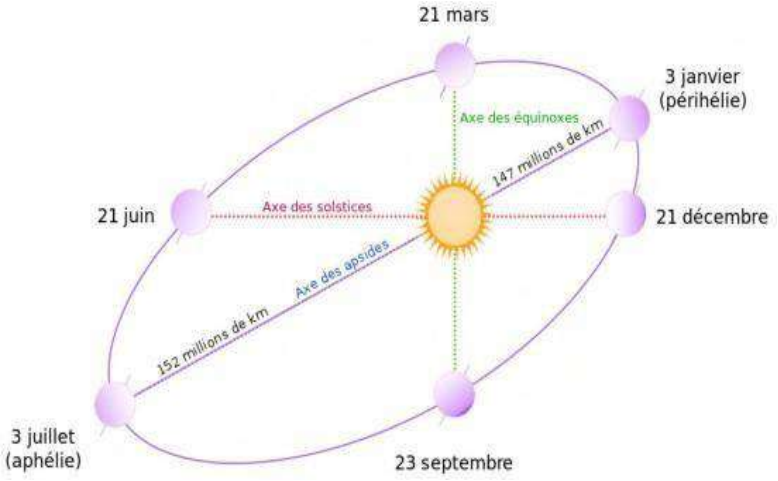


Figure II.1 : Mouvement de la terre autour du soleil

Constante solaire :

La constante solaire est le flux énergétique reçu par une surface unité, située à la limite de l'atmosphère, en (W/m2). Constante (qui varie peu dans le temps et l'espace). Les mesures effectuées par la NASA a bord des satellites avancent une valeur moyenne de 1353 W/m2, certains ouvrages avancent la valeur de 1390 W/m2 et d'autres 1367 W/m2 [4].
Les mesures par satellite ont permet d'établir une formule empirique, d'une précision acceptable donnant la constante solaire I en fonction du jour j de l'année :

$$I = I_0.\left(1+0,033.cos\left(0,984.j\right)\right)$$

(II.1)

I_0 : La valeur moyenne de la constante solaire.

II .1.4 Coordonnées géographiques d'un site [4]

Tout point de la surface de la terre est repéré par ses coordonnées géographiques :

II .1.4.1.Latitude (φ)

C'est l'angle formé par la verticale d'un lieu donné avec le plan équatorial terrestre. Elle est comptée à partir de l'équateur de 0 à ± 900, positivement vers le nord et négativement vers le sud.

II .1.4.2.Longitude (Ψ)

C'est l'angle formé par le méridien local du site avec le Méridien de référence (méridien de Greenwich).

II.1.4.3.L'altitude (Z)

Correspond à la distance verticale entre un point et une surface de référence, le géoïde, figurant le niveau moyen de la mer.

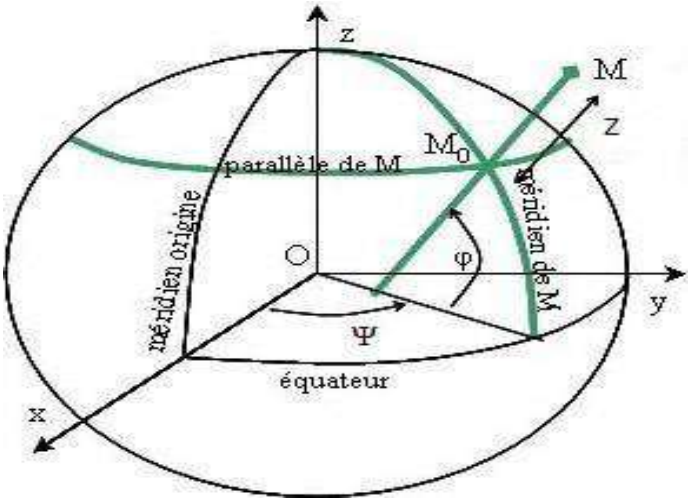


Figure II.2 : Coordonnées géographiques

II .1.5.Coordonnées du soleil par rapport à un observateur [4]

Pour déterminer les coordonnées du soleil par rapport à un observateur situé sur la surface de la terre on définit deux repères, le repère équatorial et le repère horizontal.

II.1.5.1.Repère équatorial

Le repère équatorial est un repère qui prend comme origine le centre de la terre et comme plan de référence le plan de l'équateur. Dans ce repère, la position du soleil dans le ciel est déterminée par deux coordonnées, la déclinaison δ et l'angle horaire **w**.

Déclinaison du soleil (δ)

Correspond à l'angle formé par le plan équatorial et la direction terre soleil. Elle varie suivant l'équation de Cooper :

$$\delta = 23.45.sin[0.980(j+284)] \qquad \textbf{(II.2)}$$

j: Le numéro du jour de l'année (1er janvier=1).
Elle varie de -23, 45° au solstice d'hiver à +23,45° au solstice d'été, et elle est nulle aux équinoxes.

L'angle horaire (W)

Correspond à l'angle compris entre la projection du soleil sur le plan équatorial et la méridienne origine du lieu considéré passant par le sud. Il est donné par la relation suivante:

$$\omega = 15.(Tsv - 12) \qquad \textbf{(II.3)}$$

Tsv: est le temps solaire vrai.

II .1.5.2.Repère horizontal

Le repère horizontal est un repère qui prend comme origine le lieu de situation de l'observateur et comme plan de référence le plan de l'horizon astronomique. Dans ce repère. La position d'un astre dans l'espace peut être repérée par ses coordonnées horizontales à savoir la hauteur du soleil **h** et son azimut **a**

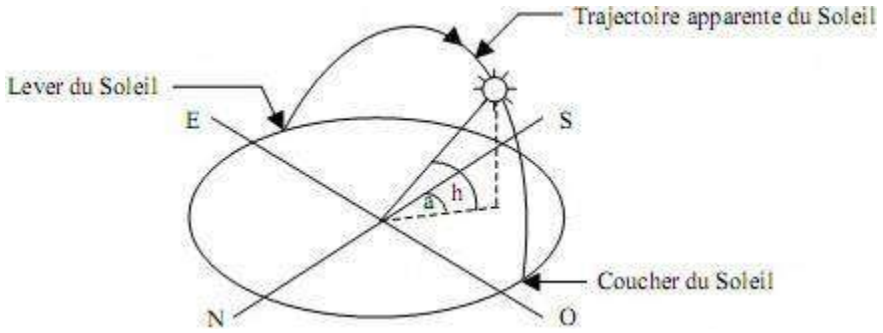


Figure II.3 : Définition de la position de soleil (hauteur & azimut)

Hauteur du soleil (h)

C'est l'angle que fait la direction de l'astre avec le plan horizontal. Il est particulièrement égal à 0° au lever et coucher astronomiques du soleil, 90° à midi temps solaire vrai.
Elle est évaluée par la relation suivante :

$$\sin(h) = cos(\delta).cos(\varphi).cos(\omega) + sin(\delta).sin($$ **(II.4)**

L'azimut (a)

C'est l'angle compris entre la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et la direction sud.

$$Sin(a) = \frac{cos(\delta).sin(\omega)}{\cos(h)}$$ **(II.5)**

II .1.6.Orientation d'un plan [3]

Dans les applications solaires, le positionnement de la surface des dispositifs solaire (capteur plan par exemple) est essentiel. Deux angles sont importants à la définition d'un plan quelconque

II .1.6.1.L'inclinaison du plan (β)

Correspond à l'angle qui fait le plan du capteur avec l'horizontale. Le calcul de l'angle d'inclinaison se fait en déduisant la déclinaison du soleil de la latitude géographique du lieu de l'emplacement du capteur. En général, il correspond à la latitude de l'emplacement plus ou moins 10 à 15°. Il est recommandé d'employer un angle d'inclinaison plus élevé à la latitude de 10 à 15 degrés durant les mois d'hiver lorsque la trajectoire du soleil est basse dans le ciel (position hivernale). Par contre, en été (position estivale), lorsque la trajectoire du soleil est plus haute dans le ciel, il faut employer un angle d'inclinaison moins élevé à la latitude de moins 10 à 15 degrés. Pour un captage annuel, l'angle d'inclinaison du capteur est fixé à la latitude de lieu.

II .1.6.2.L'azimut du plan (déviation azimutale)(a)

Il est défini par l'angle que fait la projection de la normale du plan sur le plan horizontal et la direction du sud.
Idéalement, les dispositifs solaires sont orientés plein sud **(a= 0)** pour être exposés au maximum à la lumière solaire.

II .1.7.L'angle d'incidence(θ)

C'est l'angle formé par la direction des rayons solaire avec la normale du récepteur [4].

II .1.8.Paramètres de temps [5]

On distingue :

II .1.8.1.Temps solaire vrai (Tsv)

La terre tourne sur elle-même de 360° en 24 heures, soit 15° par heure, il existe ainsi une relation simple reliant le temps solaire vrai *Tsv* et l'angle horaire ω (équation **II .3**).

II .1.8.2.Temps solaire moyen(Tsm)

La trajectoire de la terre autour du soleil est elliptique (première loi de Kepler). Durant ce mouvement, le rayon vecteur Soleil-Terre balaie des aires égales dans des temps égaux (deuxième loi de Kepler). Tout ceci, ajouté au fait que l'axe de rotation de la terre est incliné par rapport au plan de l'écliptique, fait que la durée du jour solaire vrai varie selon les époques de l'année. On introduit alors la notion de temps solaire moyen (Tsm) qui varie de ± 16mn par rapport au temps solaire vrai (Tsv) ce qui correspond à l'équation de temps.
Tsm est donnée par la relation suivante :

$$Tsm = \text{Tsv} - \text{Et} \qquad \textbf{(II.6)}$$

Et : est le terme correctif appelé équation de temps, Cette quantité peut être calculée par la formule suivante :

$$Et = -0{,}0002 + 0{,}4197 \times cos(0{,}984j) - 7{,}3509 \times sin(0{,}984j) - 3{,}2265 \times cos(2 \times 0{,}984j) - 9{,}3912 \times sin(2 \times 0{,}984j) - 0{,}0903 \times cos(3 \times 0{,}984j) - 0{,}3361 \times sin(3 \times 0 \qquad \textbf{(II.7)}$$

j: Numéro du jour de l'année.

II .1.8.3.Temps universel (Tu)

Le temps universel est égal au temps solaire moyen de la méridienne origine (méridien de Greenwich). Il est exprimé ainsi :

$$Tu = \mathrm{Tsm} + \frac{\gamma}{15} \qquad \textbf{(II.8)}$$

II .1.8.4.Temps légal (Tl)

L'heure légale correspond à l'heure que nous lisons aux horloges, elle est donnée par la relation suivante :

$$Tl = \mathrm{Tu} + C_1 + C_2 \qquad \textbf{(II.9)}$$

C_1 : est le décalage horaire par rapport au Greenwich.

C_2 : correspond à l'heure d'été et d'hiver, s'il ya lieu.

II .1.9.Rayonnement solaire [6]

L'énergie solaire représentée par la constante solaire moyenne à l'entrée de l'atmosphère subit une altération à sa traversée de l'atmosphère, seulement une partie de cette énergie arrive au sol sous différentes formes. Ainsi, on définit:

II .1.9.1.Rayonnement direct

Le rayonnement direct ou la composante directe du rayonnement solaire est celui incident sur un plan quelconque en provenant d'un angle solide autour du disque solaire. Il parvient en ligne droit et par temps clair.

II .1.9.2.Rayonnement diffus

C'est la composante du rayonnement solaire incidente sur un plan récepteur après avoir été diffusée par les nuages, les poussières, les aérosols et le sol. Elle parvient ainsi de toute la voute céleste.

II .1.9.3.Rayonnement réfléchi

Le rayonnement réfléchi ou l'albédo est le rapport de l'énergie solaire réfléchie par une surface sur l'énergie solaire incidente. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).
Ainsi pour un corps noir parfait, l'albédo est nul.

II .1.9.4.Rayonnement global

Le rayonnement global correspond à la somme des composantes du rayonnement solaire définit précédemment.

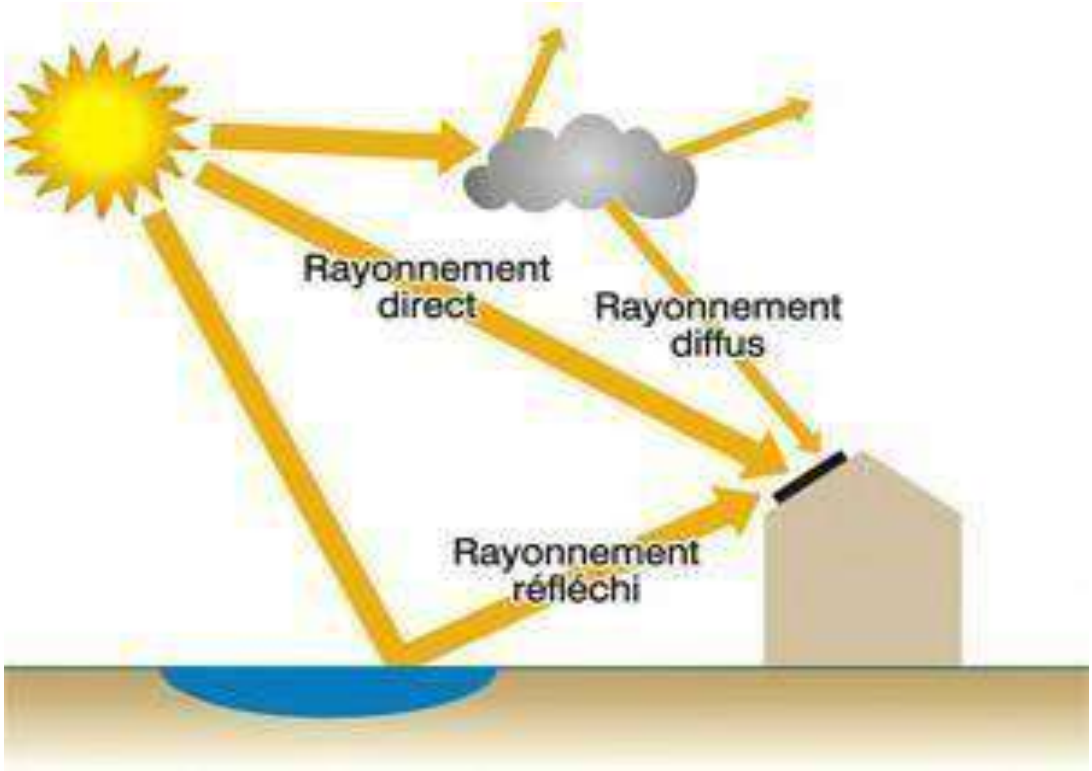


Figure II.4 : Les composantes du rayonnement solaire

II .1.10.Potentiel solaire en Algérie

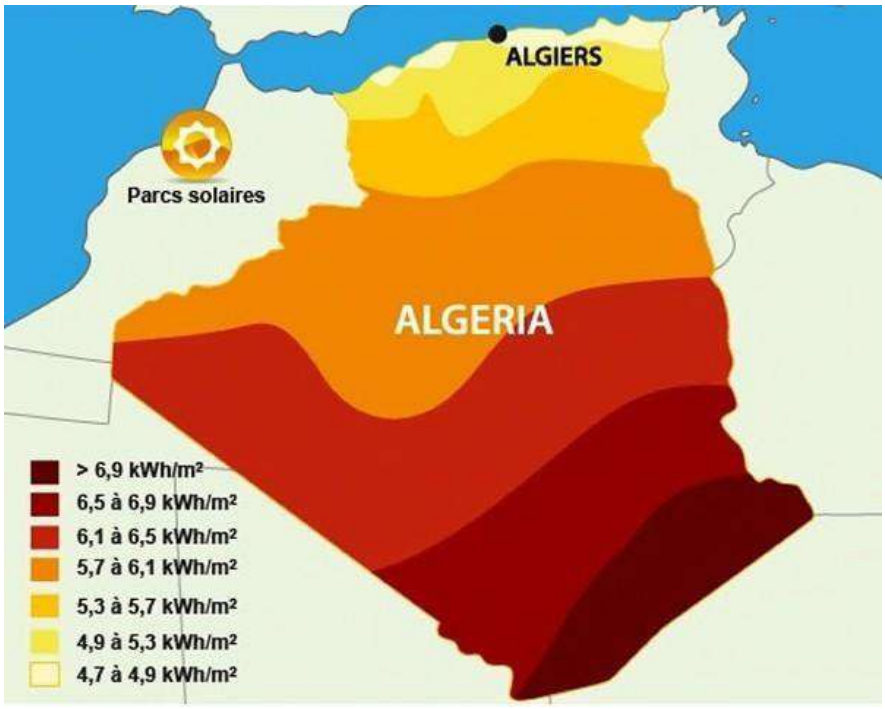


Figure II.5 : Gisement solaire en Algérie

De part sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur laquelle si la -totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (Hauts-Plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 KWh/m²/an au nord, et 2263 kWh/m²/an au sud du pays.

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.

La région d'Adrar est particulièrement en soleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie [7].

II .2.Les applications de l'énergie solaire :

Le rayonnement solaire peut être utilisé de deux manières : soit en utilisant la chaleur produite par le rayonnement (énergie thermique), soit en convertissant l'énergie solaire en électricité (énergie photovoltaïque).
L'utilisation de l'énergie solaire la plus simple et la plus directe, est la production d'eau chaude sanitaire. C'est aussi l'une des plus anciennes, comme plusieurs dispositifs de chauffe-eau solaires ont été inventés depuis les débuts du XX^{ème} siècle jusqu'à nos jours, plus performants les uns que les autres [8].
Des généralités sur les chauffe eau solaires et le photovoltaïque feront le sujet de cette partie.

II .2.1.Chauffe-eau solaire :

Un chauffe-eau solaire est un dispositif de captation de l'énergie solaire destiné pour fournir partiellement ou totalement de l'eau chaude sanitaire (ECS).
Ce type de chauffage permet en général de compléter les autres types de chauffage de l'eau utilisant d'autres sources d'énergies (électricité, énergies fossiles, biomasse…). Dans de conditions favorables il permet de les remplacer totalement.
Un chauffe-eau solaire individuel (CESI) permet de capter l'énergie solaire pour fournir de l'eau chaude et cela pour divers usages, il se compose principalement de capteurs solaires thermiques et d'un ballon de stockage d'eau chaude [9].

II .2.2.L'énergie photovoltaïque :

II .2.2.1.L'effet photovoltaïque :

Il s'agit de transformer l'énergie contenu dans la lumière du soleil en énergie électrique à travers un capteur constitué de matériaux sensible à l'énergie contenue dans les photons .Ce capteur présente à l'échelle élémentaire sous forme d'une cellule photovoltaïque (PV) .L'effet PV fut observé la première fois en 1839 par le physicien français Edmond Becquerel. Toutefois ce n'est qu'au cours des années 1950 que les chercheurs de la compagnie Bell, aux Etats-Unis parvinrent à fabriquer la première photopile, l'élément primaire ou de base de la conversion PV [10].

II .2.2.2.Le principe de la conversion :

L'effet PV utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présente un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériaup. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction (dite p-n) a été formée. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi un

pair électron - trou. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel [11].

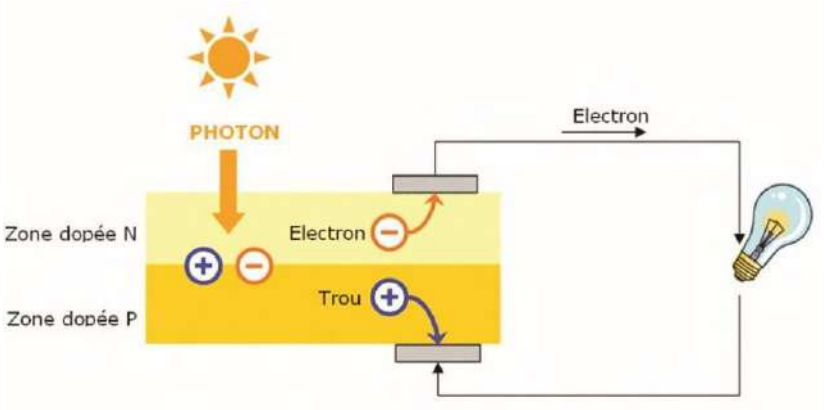


Figure II .6: Principe de la conversion photovoltaïque

II .2.2.3.La cellule photovoltaïque [12] :

Les cellules PV sont des dispositifs électronique réalisées à l'aide des composants semi-conducteurs qui possèdent la particularité de produire l'électricité quant elles sont éclairées. Elles sont généralement faites à base du silicium.

Type de cellules :

La plupart des cellules solaires disponibles sur le marché mondial, sont à base de silicium, soit du type mono, poly cristallin ou amorphe.

Les cellules monocristallines :

Ce sont celles qui ont le meilleur rendement mais aussi celle qui ont le cout le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée.

Les cellules poly cristallines :

Leur conception étant plus facile, leur coût de fabrication est moins important, cependant leur rendement est plus faible.

Les cellules amorphes :

Elles ont un faible rendement, mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres.
Le tableau **II .1** présente les différents types de cellules avec leurs rendements [13].

Tableau II .1 : Différents types de cellules avec leurs rendements

Technologies de cellules	Rendement en laboratoire	Rendement production
Silicium amorphe	13%	5-9 %
Silicium poly cristallin	19,8%	11-15 %
Silicium monocristallin	24,7%	13-17 %

Caractéristique d'une cellule photovoltaïque

La cellule étant chargée par une résistance, lorsque l'on éclaire la jonction p-n, on observe l'apparition d'un courant inverse I sous une tension en sens direct V. la jonction fonctionne en photopile, c'est l'effet PV [14].

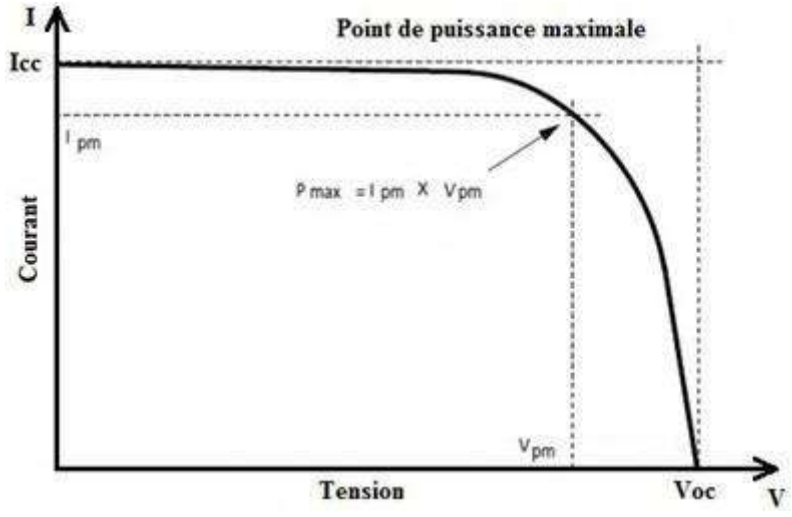


Figure II .7 : Caractéristique courant tension d'une cellule photovoltaïque

Association des cellules [14]

Association en série

En additionnant des cellules ou des modules identiques en série, le courant de la branche reste le même mais la tension augmente proportionnellement au nombre de cellules (modules) en série. La figure **II .8** montre l'intérêt de l'association des cellules ou modules photovoltaïques identiques en série.

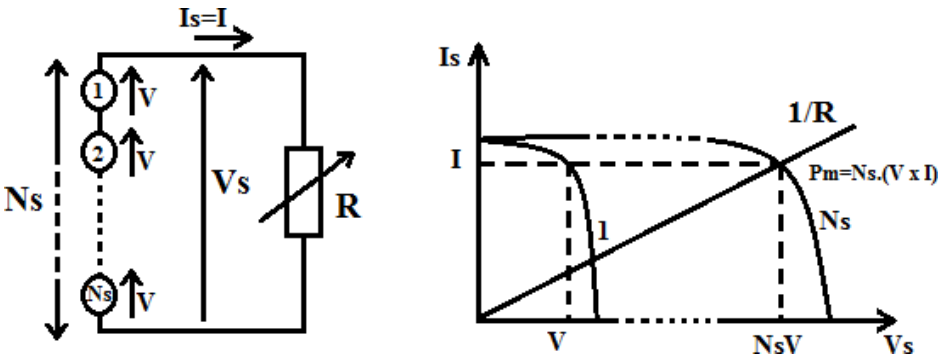


Figure II .8: Association de cellules en série

Association en parallèle

En additionnant les modules identiques en parallèle, la tension de la branche est égale à la tension de chaque module et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de modules en parallèle dans la branche. Comme illustré sur la figure. **II .9**

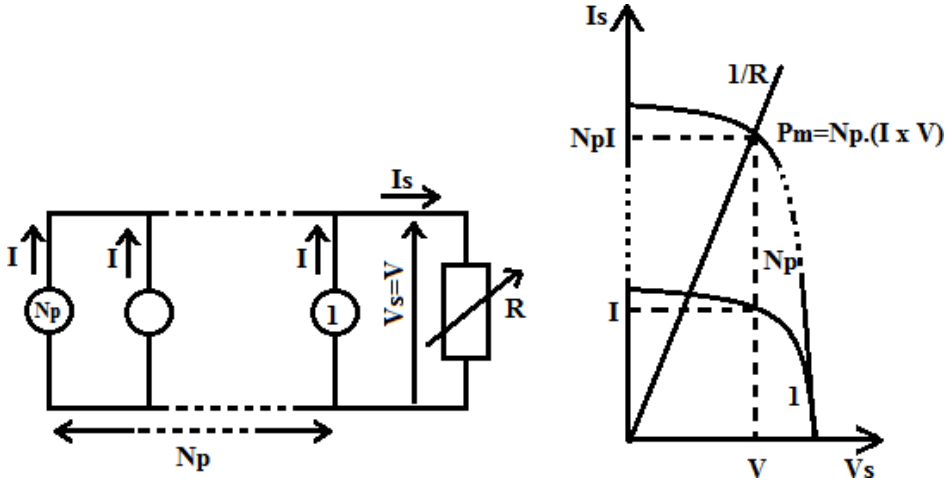


Figure II .9: Association de cellules en parallèle

II .2.2.4.Avantages et Inconvénients de l'Énergie Photovoltaïque [15]

En tant que source d'énergie électrique, un système photovoltaïque offre des avantages mais aussi des inconvénients.

Avantages

Les installations PV sont en général de haute fiabilité, peu sujettes à l'usure, elles demandent peu d'entre tien.
Le montage des installations PV est simple et les installations sont adaptables aux besoins de

chaque projet.
Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par

exemple des installations éoliennes.
Il s'agit d'une source d'énergie inépuisable.
L'énergie PV est une énergie propre et non-polluante qui ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne génère pas de déchets.

Inconvénients :

Les rendements des panneaux PV sont encore faibles.
Dans le cas d'une installation PV autonome qui ne revend pas son surplus d'électricité au réseau, il faut inclure des batteries dont le coût reste très élevé.
Le niveau de production d'électricité n'est pas stable et pas prévisible mais dépend du niveau d'ensoleillement. De plus, il n'y a aucune production d'électricité le soir et la nuit.
La durée de vie d'une installation PV n'est pas éternelle mais de l'ordre de 20 à 30 ans. De plus, le rendement des cellules PV diminue avec le temps qui passe. On parle en général pour les panneaux PV, d'une perte de rendement de 1 % par an.

Conclusion

Dans ce présent chapitre, on a présenté une brève description du soleil et de son énergie, et aussi quelques données nécessaires pour notre étude notamment les paramètres de position et de temps solaire, et une description du rayonnement solaire. Ce dernier nous a permis aussi d'approfondir et d'enrichir nos connaissances sur l'énergie PV et les chauffe-eau solaires qui fonctionnent selon un principe simple et efficace.
Le chapitre suivant sera consacré pour l'étude du chauffe-eau solaire.

Chapitre III

Etude de chauffe -eau solaire

Introduction :

La façon la plus classique d'utiliser l'énergie solaire consiste à produire de l'eau chaude. Un tel système devrait comporter deux éléments principaux : un capteur solaire et un réservoir de stockage. Pour étudier un tel système solaire thermique, une technique de modélisation appropriée est nécessaire pour introduire les deux éléments [16]

Chauffe-eau solaire :

Un chauffe-eau solaire est un dispositif de captation de l'énergie solaire destiné pour fournir partiellement ou totalement de l'eau chaude sanitaire (ECS).
Ce type de chauffage permet en général de compléter les autres types de chauffage de l'eau utilisant d'autres sources d'énergies (électricité, énergies fossiles, biomasse…). Dans de conditions favorables il permet de les remplacer totalement.
Un chauffe-eau solaire individuel (CESI) permet de capter l'énergie solaire pour fournir de l'eau chaude et cela pour divers usages, il se compose principalement de capteurs solaires thermiques et d'un ballon de stockage d'eau chaude [17].

Types de chauffe eau solaire [17] :

L'énergie interceptée par le capteur solaire et convertie en chaleur est transmise au fluide caloporteur et elle est transférée vers un réservoir de stockage. Ainsi, selon la nature de circulation du fluide, on distingue deux systèmes de chauffe eau solaires.
Chauffe eau solaire à thermosiphon

Sous l'effet d'un rayonnement solaire, l'eau contenue dans le capteur s'échauffe est sa densité diminue, selon le principe de gravitation elle s'élève dans le circuit et elle est remplacée par de l'eau plus froide (et donc plus lourde) en provenance du ballon. C'est l'effet thermosiphon. Pour que la circulation du fluide dans le circuit soit assurée, le ballon de stockage doit être obligatoirement placé plus haut que les capteurs selon une hauteur prédéfinie.
Il ne comporte pas de pompes ni de régulation, et ne nécessite pas de raccordement à un réseau électrique, les risques de panne et de dysfonctionnement sont, par conséquent, très réduits. Selon la disposition du ballon de stockage par rapport aux capteurs on distingue deux types de CESI :

CESI thermosiphon monobloc.
CESI thermosiphon à éléments séparés.

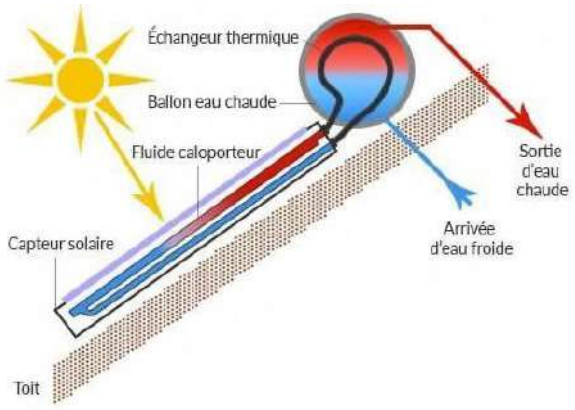


Figure III.1:CESI monobloc

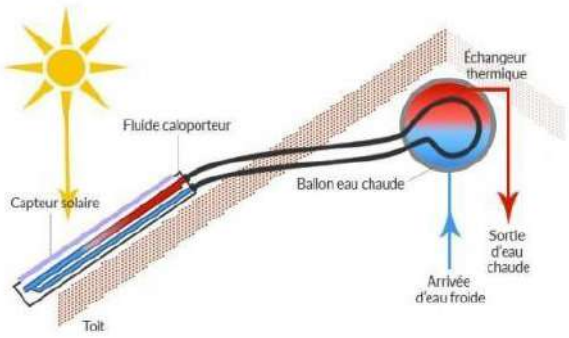


Figure III.2: CESI à éléments séparés

Chauffe-eau solaire à circulation forcée :

Cette catégorie regroupe les chauffe-eau solaires qui font appel à un circulateur pour transférer l'eau chauffée dans le collecteur depuis le capteur solaire vers le ballon de stockage. Contrairement aux chauffe-eau fonctionnant par thermosiphon, la disposition relative du ballon et du capteur est totalement libre. Ce qui représente un des avantages d'un système de chauffe-eau-solaire à circulation forcée.

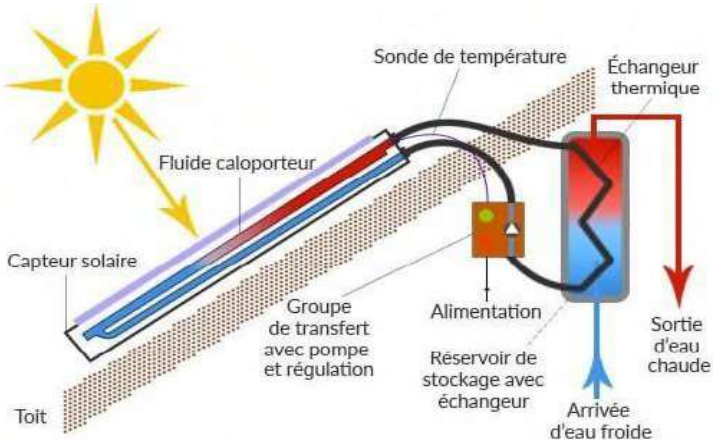


Figure III.3: CES à circulation forcée

Chauffe eau à auto vidange :

C'est une autre alternative pour éviter le risque de gel. Elle consiste à vider les panneaux solaires en période de non utilisation. Dans ce cas, le ballon est toujours situé plus bas que les panneaux solaires. Dès que le soleil ne chauffe plus, la circulation entre les panneaux et le ballon s'arrête et le circuit se vidange automatiquement. Dès que l'ensoleillement reprend, la circulation se remet en route.

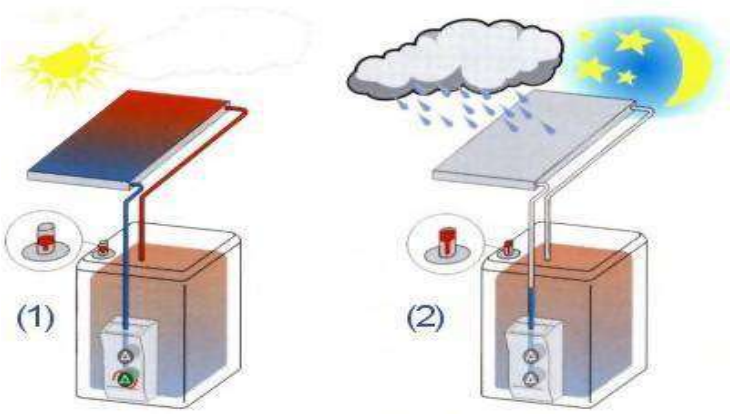


Figure III.4: CES à auto vidange

Composants d'un chauffe eau solaire [18] :

Un chauffe-eau solaire, ce n'est pas un bloc unique qui produit de l'eau chaude, mais un ensemble d'éléments qui, raccordés, vont permettre au soleil de libérer l'énergie contenue dans sa lumière, et de chauffer l'eau sanitaire.

Il est composé principalement de deux éléments, Le ballon de stockage et le capteur solaire. Auquel sont rajoutés d'autres composants à savoir, une tuyauterie, un groupe de sécurité...etc.

Capteur solaire

Les capteurs solaires thermiques constituent l'élément essentiel dans les installations de conversion thermique de l'énergie solaire.
Le rayonnement solaire est absorbé par une surface noire, parcourue par un fluide caloporteur qui extrait l'énergie thermique et la transfère vers son lieu d'installation ou de stockage.

Types de capteurs solaires thermiques [18]

Il existe trois types de capteurs solaires thermiques :

Capteurs plans vitrés

C'est un élément très simple, comportant un absorbeur métallique qui transforme le rayonnement solaire en chaleur, transmet cette chaleur à un liquide caloporteur.

Principaux éléments constituants un capteur plan vitré

L'absorbeur est monté dans un boîtier isolé recouvert d'un verre ou feuille en matière synthétique hautement transparente. L'absorbeur comporte une couche noire souvent sélective qui absorbe efficacement le rayonnement solaire et réduit les pertes par rayonnement.
L'absorbeur est dans ce cas, métallique (en cuivre ou en aluminium), dans un caisson isolé en face arrière, et vitré en face avant. La fonction du vitrage est de piéger le rayonnement en créant

un effet de serre.

Ces capteurs conviennent mieux à des applications à température modérée où les températures souhaitées se situent entre 30°C et 90°C [18].

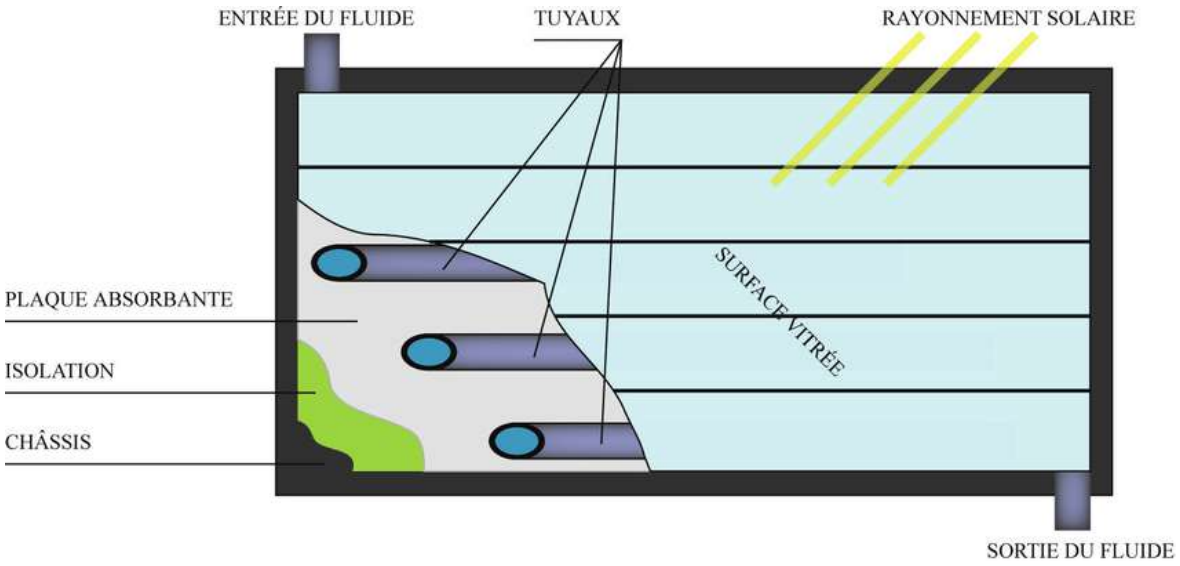


Figure III.5: Composants d'un capteur plan vitré

Principe de fonctionnement d'un capteur plan vitré :

Une partie du rayonnement solaire qui arrive sur la vitre la traverse pour atteindre la plaque absorbante. Cette dernière s'échauffe et transfère la chaleur au fluide caloporteur qui circule dans les tubes. Comme tout corps qui s'échauffe, l'absorbeur émet un rayonnement (essentiellement dans l'infrarouge) qui est réfléchit par la vitre, c'est le principe de « l'effet de serre ». L'isolant a pour fonction de minimiser les déperditions thermiques avec l'extérieur. En effet, la grande partie de l'énergie absorbée doit être transmise au fluide, il faut donc minimiser les pertes avec l'environnement proche [19].

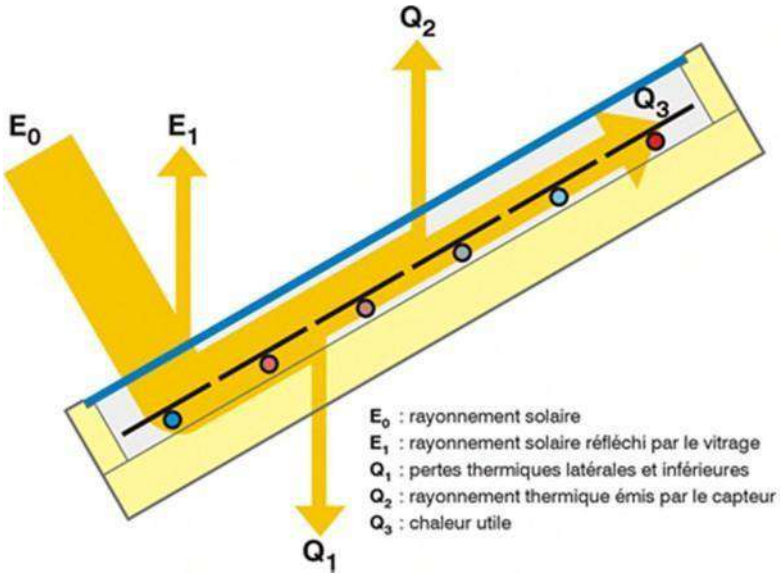


Figure III.6 : Fonctionnement d'un capteur plan vitré

Capteur plan non vitré

Ce capteur est le plus simple que l'on puisse imaginer, son application usuelle est le chauffage de piscine en plein air, il ne permet pas la production d'ECS sauf dans les pays chauds. Il s'agit d'un seul absorbeur en matière synthétique pour les applications à basse températures en métal revêtu d'une couche sélective, se compose d'un réseau de tubes noirs accolés les uns aux autres.

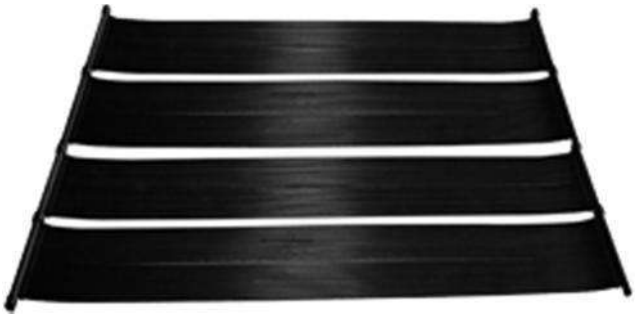


Figure III .7: Capteur plan non vitré

Capteurs sous vide

Les capteurs sous vide permettent d'atteindre des températures plus élevée (jusqu'à 120ºC). Ils sont constitués de tubes en verre dans lesquels se trouve un absorbeur sélectif. Le vide réalisé dans les tubes permet de diminuer fortement les pertes thermiques du capteur, l'autre avantage de ce capteur est de pouvoir être disposé suivant n'importe quelle inclinaison ce qui facilite son intégration. Ces capteurs conviennent bien à la production d'EC (eau chaude) en montagne ou dans les pays du nord compte tenu de leur bon rendement pour des températures extérieures basses.



Figure III.8: Capteur sous vide

Paramètres caractérisant le fonctionnement d'un capteur plan [20]

Les paramètres caractérisant le fonctionnement d'un capteur plan peuvent être classés en deux catégories : les paramètres externes et les paramètres internes.

Paramètres externes

Les principaux paramètres externes qui peuvent intervenir directement sur les performances d'un capteur plan sont:

Paramètre d'ensoleillement : le rayonnement solaire, position du soleil, durée d'insolation, …etc
Température ambiante
Vitesse du vent

Paramètres internes Paramètres géométriques

Les paramètres de position : angle d'inclinaison, orientation du capteur.
La surface du capteur
Les dimensions de différents éléments : épaisseur, longueur et largeur

Paramètres de fonctionnement

La température d'entrée du fluide caloporteur
Le débit massique du fluide caloporteur
Les températures des différents éléments du capteur
Ces paramètres sont très importants. Ils permettent, en tenant compte du coût, d'avoir une température de sortie du fluide élevée (puissance utile élevée). En d'autres termes ; un meilleur rendement du capteur.

Orientation et inclinaison d'un capteur plan [20]

Orientation

A cause de répartition intégrale de l'ensoleillement pendant toute la journée, il est nécessaire d'orienter le capteur de telle façon que l'énergie recueilli soit maximale, généralement on oriente les capteurs en plein sud (Pour l'hémisphère nord)

L'inclinaison

Le problème de l'inclinaison est le plus délicat et nécessite une étude chiffrée, mais nous constatons néo-moins que la position verticale du capteur favorise la période hivernal, alors que la position horizontale conduit a des meilleurs rendements pendant l'été, la solution idéale serait d'incliner différemment les capteurs suivant la période de l'année.
Comme les capteurs seront nécessairement fixes on les inclinera sur l'horizontale d'un angle égale à latitude du lieu.
Raccordement des capteurs [21]

Raccordement en série

Dans ce type de montage, la sortie du premier capteur est reliée à l'entrée du deuxième capteur dont la sortie est reliée a l'entrée du troisième capteur et ainsi de suite.
Plus le parcours du fluide caloporteur est long, plus les températures obtenues a la sortie du dernier capteur sont élevées.

Raccordement en parallèle

Dans ce cas, l'eau arrive à chaque capteur par une conduite de distribution qui parcourt les bords inférieurs, alors que l'eau chaude est prélevée par l'intermédiaire d'une autre conduite placée le long du bord supérieur du capteur. Il est donc important dans ce type de raccordement que le circuit soit bien équilibré de façon à ce que le débit du fluide caloporteur soit distribué également dans les divers capteurs.

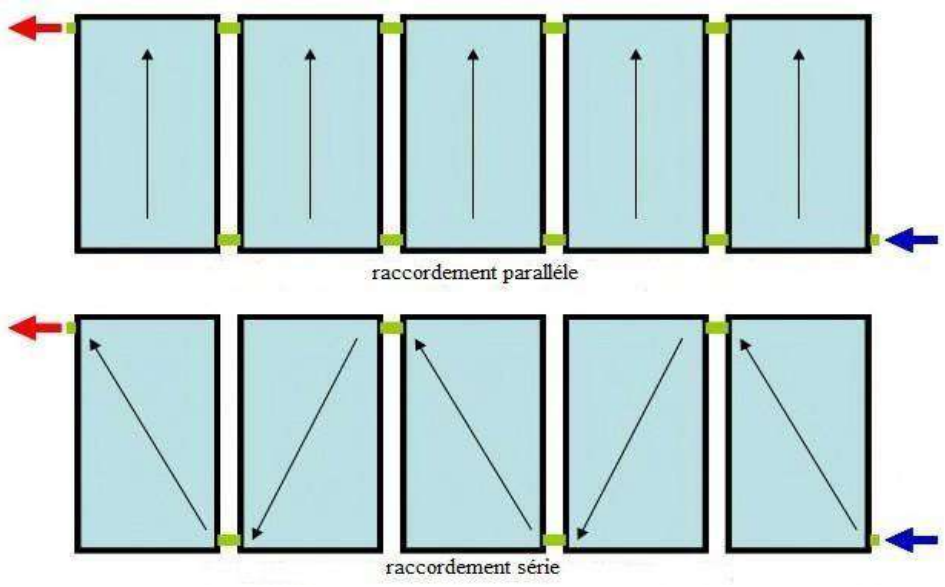


Figure III.9 : Raccordement des capteurs

Ballon de stockage

Le ballon de stockage est un élément essentiel dans l'installation de chauffage d'eau solaire. Comme son nom l'indique, Il permet de stocker l'eau chaude pour la restituer au moment des besoins d'utilisation, Il peut contenir ou non un échangeur de chaleur.
Aussi pour éviter les pertes thermiques vers le milieu extérieur, le ballon de stockage doit être bien isolé en choisissant une épaisseur de l'isolant thermique et économique adéquate.

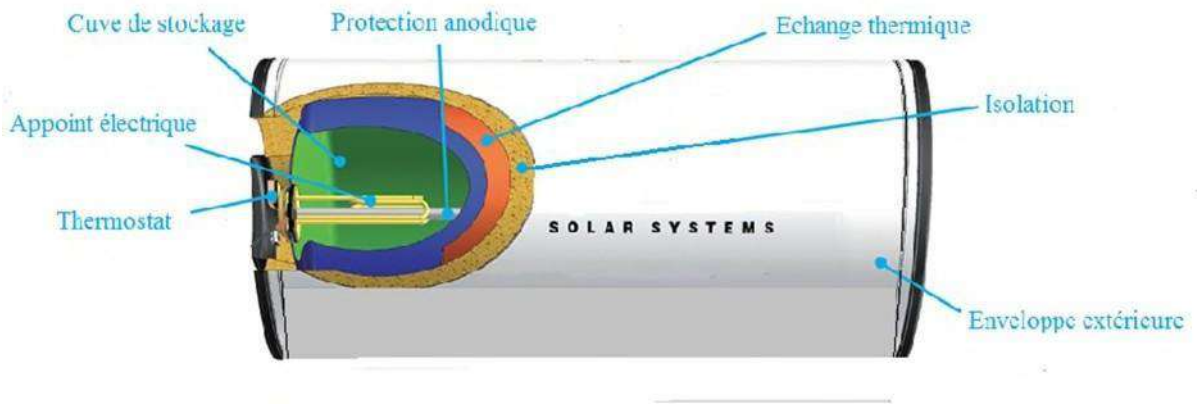


Figure III.10: Ballon de stockage

L'anode de sécurité protège la cuve de la corrosion.
La résistance électrique immergée dans la cuve permet de chauffer l'eau en cas de faible ensoleillement pendant plusieurs jours (Appoint électrique).
L'échangeur

Un échangeur de chaleur : est un appareil dans lequel circulent deux fluides séparés par une paroi et qui échangent de la chaleur, l'un se refroidit pendant que l'autre s'échauffe.
Le plus souvent, il est intégré dans la cuve de stockage.
De part sa fonction de transfert thermique, l'échangeur doit offrir une surface de contact la plus grande possible entre fluides, c'est pourquoi la plupart des échangeurs ont l'aspect d'un serpentin



Figure III.11: Echangeur sous forme d'un serpentin

Tuyauterie

La tuyauterie sert au transfert du fluide caloporteur, son étude et son installation doivent être suivies avec soin pour éviter de graves ennuis. Le circuit de tuyauterie doit être le plus simple possible c'est-à-dire court et éviter les changements de diamètre. Les tuyaux doivent être soigneusement calorifugés.

Groupe de sécurité [21]

Cet appareil regroupe 4 fonctions :
Protéger le ballon contre les excès dépression.
Isoler le ballon du circuit d'alimentation eau froide.
Interdire le retour de l'eau chaude dans le circuit d'alimentation eau froide.
Vidanger le ballon.

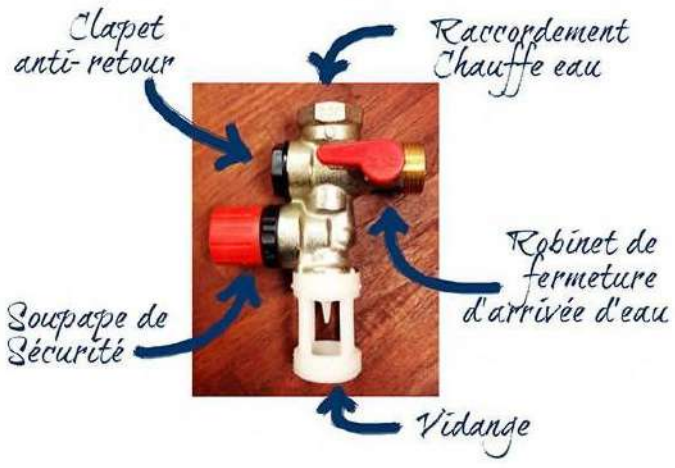


Figure III.12: Groupe de sécurité

Fluide caloporteur [18] :

Un fluide caloporteur (aussi appelé caloriporteur), est un fluide ayant la capacité particulière de capturer efficacement et durablement la chaleur ambiante. Il est donc utilisé dans différents systèmes (moteurs, chauffe-eau solaires, réfrigérateurs, etc.) pour transporter la chaleur d'un point à un autre, en vue de produire un certain effet. Pour nous, il aura pour rôle de transporter la chaleur accumulée à l'intérieur des capteurs solaires jusqu'au ballon d'eau chaude, afin de transmettre la chaleur à l'eau.

Fonctionnement d'un chauffe eau solaire«thermosiphon»

L'effet thermosiphon est un phénomène naturel : dans un circuit fermé, l'eau chaude à tendance à monter et l'eau froide à descendre.
L'eau froide arrive dans la cuve (1). L'eau située en bas de la cuve (2), plus froid descend dans le réseau de tuyaux du capteur, se réchauffe grâce aux rayons de soleil en remontant et une fois arrivée en haut du capteur (5) remonte naturellement dans le ballon (6). La circulation de l'eau s'effectue ainsi sans l'aide d'une pompe. L'eau chaude est puisée en partie haute du ballon (7), la ou l'eau est la plus chaude pour être envoyée dans le circuit d'eau chaude (8). Pour que le phénomène fonctionne, il faut que le ballon de stockage soit situé au dessus du capteur [22].

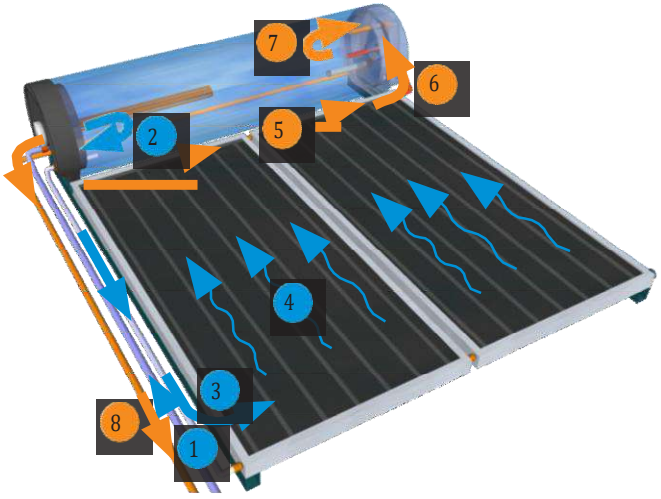


Figure III.13: Fonctionnement d'un CES à thermosiphon

Avantages et inconvénients d'un chauffe-eau solaire [18]

Avantages

Un chauffe-eau solaire ne dégage aucun gaz à effet de serre, vous contribuez donc activement à la protection du climat.
Un chauffe-eau solaire utilise une source d'énergie disponible et renouvelable.
Avec un chauffe-eau solaire vous préservez les sources d'énergie conventionnelles (pétrole, gaz, charbon). Vous contribuez à l'indépendance énergétique du pays.
Un chauffe-eau solaire a une durée de vie moyenne de vingt ans, soit beaucoup plus qu'un cumulus électrique, et cela en fait donc une technologie fiable.
En installant un chauffe-eau solaire, vous gagnez en indépendance énergétique et économique : vous n'êtes plus assujetti aux dépenses additionnelles dues aux augmentations des prix de l'énergie.
Un chauffe-eau solaire ne demande qu'un entretien léger sur vingt ans.
Si un chauffe eau solaire ne couvre pas tous les besoins du logement, il ne faudra que très peu de puissance électrique complémentaire pour faire l'appoint.
Un chauffe-eau solaire bien dimensionné peut non seulement apporter la fourniture d'eau chaude domestique, mais aussi, la fourniture partielle ou totale d'eau chaude pour le chauffage.

Inconvénients

Un chauffe-eau solaire est un dispositif plus coûteux au départ, qui demande donc un effort d'investissement.
Le coût d'un ballon pour un chauffe-eau solaire est plus élevé qu'un système conventionnel, car il doit résister à la pression, répondre aux directives concernant l'hygiène de l'eau potable et satisfaire les exigences sévères concernant la protection anticorrosion.
Un chauffe-eau solaire ne fonctionne pas la nuit, il faut donc investir sur un ballon de stockage très bien isolé pour avoir de l'eau chaude disponible le matin.
Un chauffe-eau fonctionne moins bien l'hiver, lors de journées couvertes, neigeuses ou pluvieuses alors que la demande énergétique est la plus élevée (surtout si le système est combiné, eau chaude/chauffage).

Systèmes à étudier :

Chauffe-eau solaire étudié :

Dans notre cas le chauffe-eau solaire étudié est de type thermosiphon monobloc, il est constitué principalement de :

2 capteurs solaires thermiques, reliés en parallèle, la surface d'un capteur est de $2m^2$
(Surface totale de captage est de 4 m^2).
Une cuve de stockage d'une capacité de 400l.
Un échangeur de chaleur sous forme d'un serpentin plongé dans la cuve.
Conduites thermique menti saulées.
Groupe de sécurité.
Un appoint électrique est intégré dans la cuve pour assurer la continuité de production d'eau chaude.

Conclusion :

On retient de ce chapitre que pour obtenir une meilleure production avec un meilleur rendement d'une installation solaire il est important de bien choisir les composants (types de capteurs, type de stratification dans le ballon de stockage, la qualité de fluide caloporteur, etc. … et leur dimensionnement

Chapitre IV:
Modélisation thermique , simulation et résultats

Introduction :

La façon la plus classique d'utiliser l'énergie solaire consiste à produire de l'eau chaude. Un tel système devrait comporter deux éléments principaux : un capteur solaire et un réservoir de stockage. Pour étudier un tel système solaire thermique, une technique de modélisation appropriée est nécessaire pour introduire les deux éléments [23].

IV .1.Rappels sur les transferts de chaleur [24]

La thermodynamique permet de prévoir la quantité totale d'énergie qu'un système doit échanger avec l'extérieur pour passer d'un état d'équilibre à un autre. Le thermique se propose de décrire quantitativement (dans l'espace et dans le temps) l'évolution des grandeurs caractéristique du système, en particulier la température, entre l'état d'équilibre initial et l'état final. La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température par conduction des hautes vers les basses températures. La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'aire de la surface isotherme est appelée densité de flux de chaleur.

IV .1.1.Conduction

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres.
La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température.

$$\vec{\varphi} = -\lambda s \, \vec{grad}(T) \qquad \textbf{(IV.1)}$$

$$\varphi = -\lambda s \frac{\partial T}{\partial x} \qquad \textbf{(IV.2)}$$

(IV.2) est la forme algébrique.

Φ : Flux de chaleur transmis par conduction.
λ: Conductivité thermique du milieu.
x : Variable d'espace dans la direction du flux.

S: Aire de la section de passage du flux de chaleur.

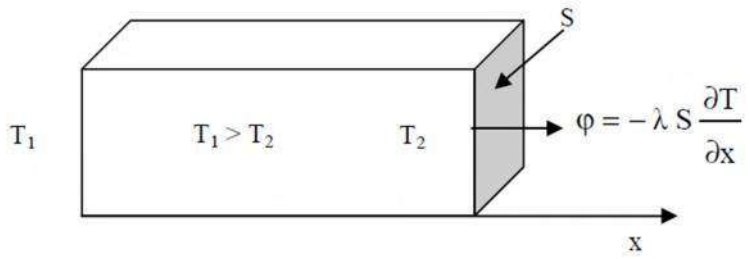


Figure IV.1 : Schéma du transfert de chaleur conductif

IV .1.2.Convection

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide. Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton :

$$\varphi = hs(T_p - T_\infty) \qquad \textbf{(IV.3)}$$

Φ: Flux de chaleur transmis par convection.

h: Coefficient de transfert de chaleur par convection.

T_p : Température de surface du solide.

T_∞ : Température de fluide loin de la surface de solide.

s: Aire de la surface de contact solide/fluide.

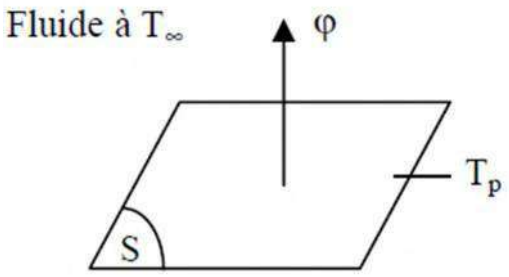


Figure IV .2 : Schéma du transfert de chaleur convectif

IV .1.3.Rayonnement

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation :

$$\varphi = \sigma \varepsilon_p s(T_p^4 - T_\infty^4) \quad \textbf{(IV.4)}$$

Φ: Flux de chaleur transmis par rayonnement.

σ: Constante de Stefan Boltzmann.
ε_p : Facteur d'émission de la surface.
T_p : Température de la surface.
T_∞ : Température du milieu environnant la surface.
s: Aire de la surface.

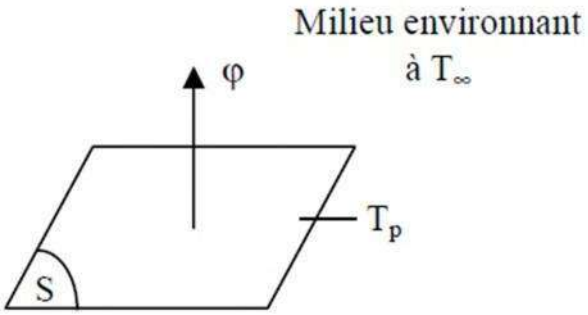


Figure IV .3: Schéma du transfert de chaleur radiatif

IV .2.Description du chauffe-eau solaire étudié:

Le chauffe-eau solaire étudié est de type thermosiphon, qui est un système thermique qui se compose de deux parties distinctes. Une première partie pour le captage de l'énergie solaire et sa conversion en énergie thermique via un capteur plan conçue à cet effet, une deuxième partie qui sert au stockage de cette énergie via une cuve de stockage située au-dessus du capteur afin d'assurer la circulation du fluide. Ces deux parties sont reliées entre elles par un circuit thermique menti sole.



Figure IV .4: Chauffe-eau solaire étudié

IV .3.Modélisation du chauffe-eau solaire

IV .3.1.Modélisation du capteur solaire plan

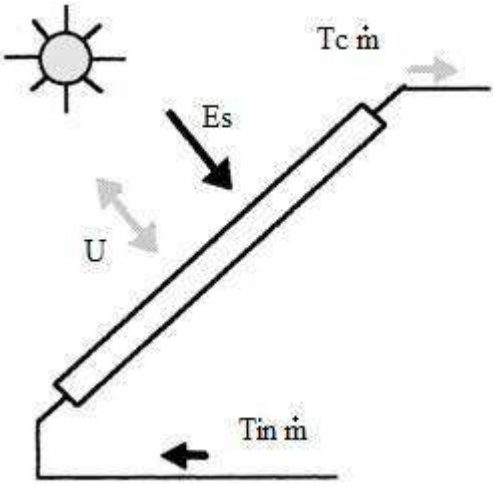


Figure: IV .5. Bilan thermique d'un capteur solaire plan

Considérons le capteur solaire plan illustré à la Figure **(IV.5),** où la température du fluide pénétrant dans le collecteur est T_{in} , la température du fluide sortant du collecteur T_C ,la

surface du collecteur A_C , l'irradiation dans le plan du collecteur E_S , le débit massique du fluide $\dot{m}$ et le coefficient de perte de chaleur du collecteur est U.

Il est destiné à construire un modèle mathématique décrivant T_C en fonction de T_{in} , $\dot{m}$, E_S et U . Le bilan énergétique général du capteur est donné par [23]:

$$\frac{[\text{Energie totale accumulée}]}{temps} = \frac{[\text{Energie totale reçue}]}{temps} - \frac{[\text{Energie totale perdue}]}{temps} \qquad \textbf{(IV.5)}$$

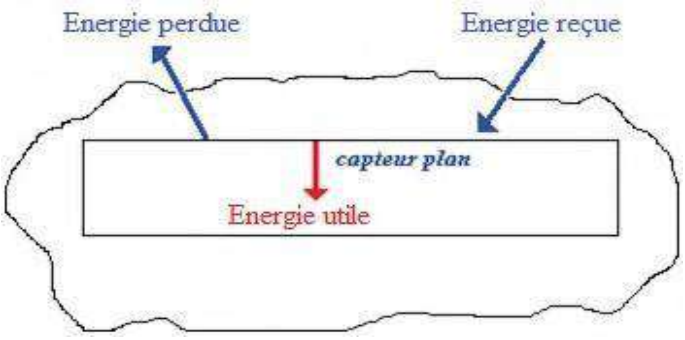


Figure IV .6: Bilan thermique autour d'un volume de contrôle

Lorsqu'un rayon de soleil traverse le vitrage, une fraction de l'énergie transmise et réfléchie par l'absorbeur vers la couverture transparente, les rayons incidents subissent alors une série de réflexions et transmissions illustrées dans la figure (IV.7) [25] :

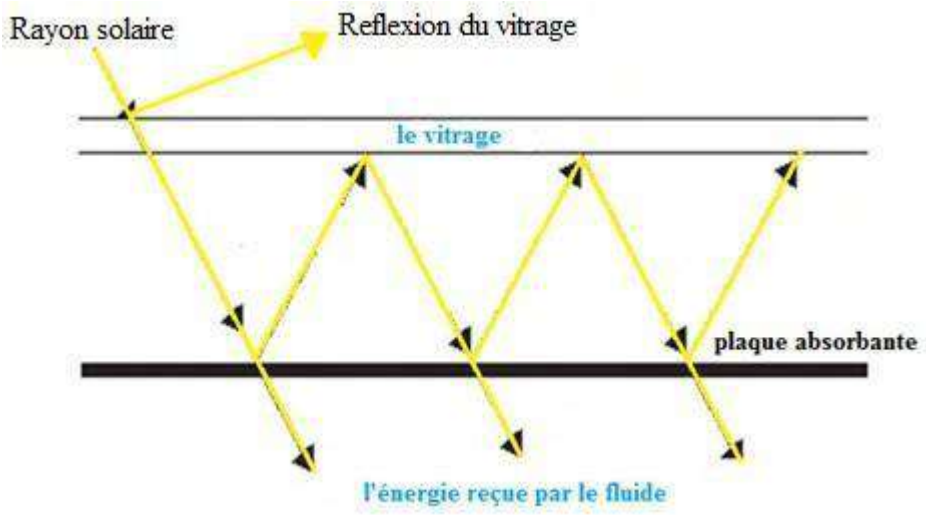


Figure IV .7: Réflexions et transmissions entre le vitrage et l'absorbeur

La performance d'un capteur solaire peut alors être décrite par le bilan énergétique.
L'énergie totale est décomposée comme

$$E = U^* + K + P \qquad \textbf{(IV.6)}$$

E : L'énergie totale.

U^* : Énergie interne

K : Énergie cinétique.

P : Énergie potentielle.

H : Enthalpie totale du système.

Dans les conditions d'état d'équilibre, la chaleur absorbée par le fluide caloporteur lors de son passage dans le collecteur est égal aux gains de chaleur du collecteur moins la perte de chaleur. L'énergie solaire absorbée par la plaque absorbante du capteur peut être calculée comme suit:

$$Q_s = E_s A_c \tau\alpha \qquad \textbf{(IV.7)}$$

Q_S : Énergie solaire absorbée par la plaque absorbante.

τ : Transmittance de la couverture du collecteur.

a : Absorbance de la plaque du collecteur.

Tous les deux τ et a sont sans dimension et dépendent de l'angle d'incidence du collecteur, les deux diminuent lorsque l'angle d'incidence augmente.

La perte de chaleur du collecteur est donnée par :

$$Q_l = UA_C \left(T_{abs} - T_a\right) \qquad \textbf{(IV.8)}$$

Q_l : Perte de chaleur du collecteur.

T_{abs} : Température de la surface de la plaque absorbante.

Ta : Température ambiante.

L'échange de chaleur entre le capteur et son environnement peut se produire dans la surface haute basse et les côtés. Sur la base de mesures pratiques et d'expériences concrètes, la perte du collecteur à travers la surface de la partie supérieure dominera.

La chaleur absorbée par le fluide lorsqu'il traverse le collecteur peut être calculée comme suit :

$$Q_f = \dot{m}c\left(T_c - T_{in}\right) \qquad \textbf{(IV.9)}$$

Qf : La chaleur absorbée par le fluide.
c: Capacité thermique spécifique du fluide.
Pour simplifier, on suppose que le liquide dans le capteur solaire est complètement mélangé. Puis le bilan énergétique du capteur basé sur les équations (IV.7) - (IV.9) peut être donné par :

$$\frac{d\left[\rho c V T_c\right]}{dt} = E_s A_c \tau\alpha + UA_c\left(T_{abs} - T_a\right) + F_c \rho_{in} c_{in} T_{in} - F_c \rho_{out} c_{out} T_c$$

(IV.10)

V : Le volume du fluide dans le collecteur.
F_c : Débit volumétrique
ρin, ρout : Densité de fluide à l'entrée / sortie du capteur.
c_{in} ,c_{out} : capacité thermique spécifique du fluide à l'entrée / sortie du capteur.

$$\dot{m} = F_c \rho$$ **(IV.11)**

- $\rho_{in} = \rho_{out}$ =
- $c_{in} = c_{out} = c$
- V est constan

En prenant en compte les hypothèses ci dessus l'Eq (IV.10) peut être réécrite comme suit :

$$\rho c V \frac{dT_c}{dt} = E_s A_C \tau\alpha - UA_C\left(T_{abs} - T_a\right) + \dot{m}c\left(T_{in} - T_c\right)$$ **(IV.12)**

En raison de la difficulté de mesurer T_{abs} , il est habituel de l'exprimée en termes de température T_{av} , qui représente la moyenne des températures T_{in} et T_C comme suit :

$$T_{av} = \frac{T_{in} + T_c}{2} \qquad \textbf{(IV.13)}$$

T_{av} : Température moyenne du fluide dans le collecteur.

Entre la surface de la plaque absorbante et le fluide, il y'a une résistance thermique, lorsque le système est en fonctionnement, la surface de la plaque absorbante sera plus chaude que le liquide contenu dans les tubes. Il y'aura plus de perte de chaleur radiative et convective si l'absorbeur se trouve en même température que celle du fluide dans les tubes. Prenant en compte cette influence par un facteur de correction *F*'qui est appelé facteur de transfert de chaleur ou d'évacuation de la chaleur. Il indique l'efficacité du transfert de chaleur entre la surface de la plaque absorbante et le fluide caloporteur.
Dans le cas de tests de performances et de mesures du capteur, parfois *F* ' est appelé «efficacité optique» η0 et *F* '*U* est appelé «coefficient de perte de chaleur globale »U_L . Ces paramètres peuvent être déterminés par analyse théorique ou par une procédure de mesure.

$$\rho c V \frac{dT_c}{dt} = E_s A_C \eta 0 - U_L A_C \left(T_{av} - T_a\right) + \dot{m} c \left(T_{in} - T_c\right) \qquad \textbf{(IV.14)}$$

IV .3.2.Modélisation du réservoir de stockage avec échangeur de chaleur [22]

Dans ce cas, le modèle est conçu comme un ballon de stockage d'eau chaude contenant un échangeur de chaleur comme montré sur la figure **(IV.8).**

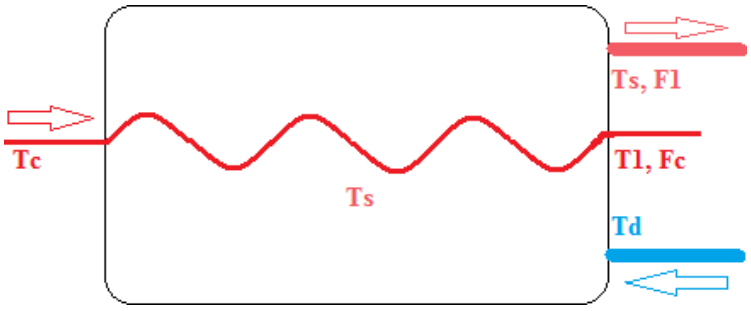


Figure IV .8 : Réservoir d'eau chaude avec un échangeur de chaleur (serpentin)

On suppose que le réservoir de stockage est complètement mélangé et T_d est constante T_c est la température du liquide qui provient du capteur, T_1 est la température du liquide qui retourne au capteur, T_d est la température de l'eau fournie au ballon, T_S est la température de L'eau extraite, F_1 est le débit volumétrique qui rentre dans la cuve et F_c est le débit Volumétrique du capteur.
Les équations du bilan énergétique du réservoir de stockage sont les suivantes:

$$\Delta T_c = T_c - T_S \quad \textbf{(IV.15)}$$

$$\Delta T_1 = T_1 - T_S \quad \textbf{(IV.16)}$$

Les hypothèses suivantes sont prises en compte :

Simulation du chauffe-eau solaire

- $\rho_1 = \rho_2 = \rho$
- $c_{p1} = c_{p2} = c$
- V_s est constant.

Les valeurs obtenues pratiquement de l'éclairement solaire et de la température ambiante sont introduits dans le programme de simulation du chauffe eau solaire pour la détermination de l'évolution des différentes températures.

En figure **IV.9** sont représentées les évolutions des différentes températures

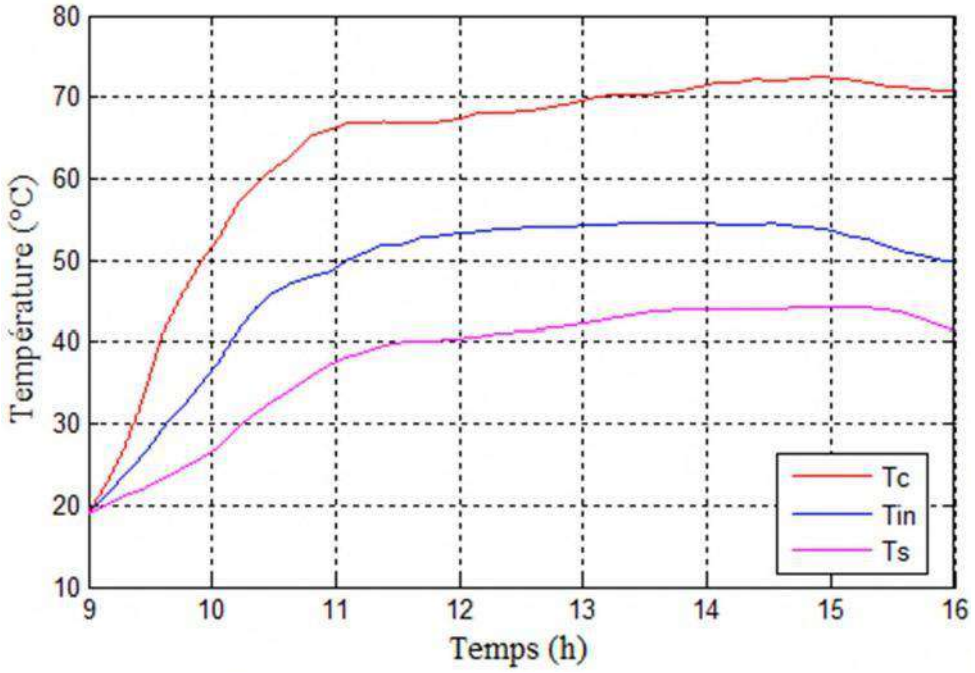


Figure IV .9 : Simulation de la variation des températures en fonction du temps

En figure IV.10 sont représentées les évolutions des différentes températures

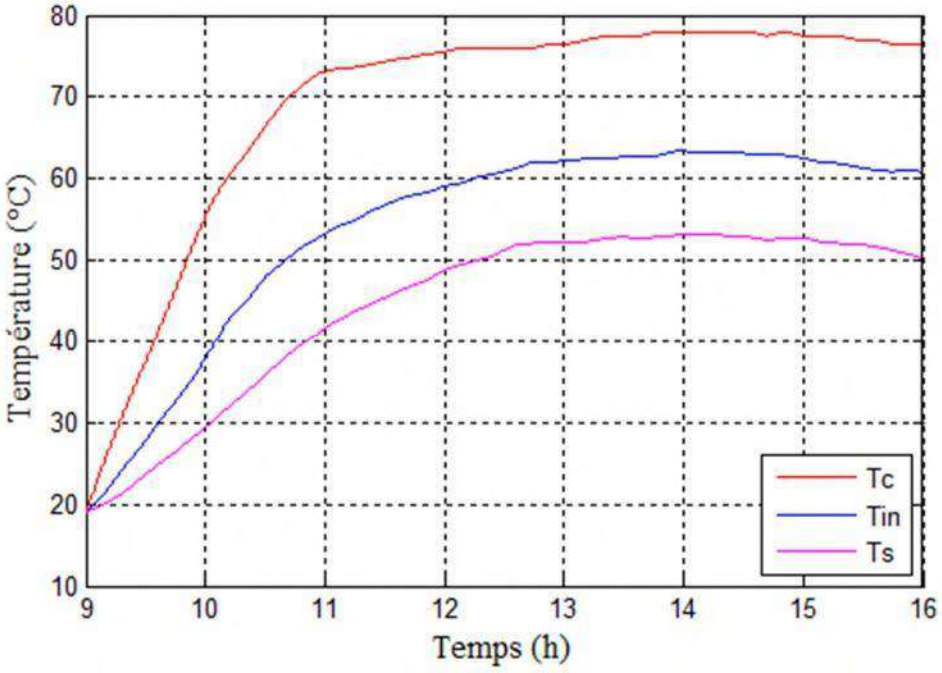


Figure IV .10 : Simulation de la variation des températures en fonction du temps

Les résultats obtenus sont présentés pour deux jours, on remarque que les températures suivent une même allure.
Elles croissent le matin autour de 9h, ou elles atteignent un maximum autour de 14h.
La température de sortie capteur est la plus élevée elle varie selon le jour pour atteindre les 70°C lors du premier jour, et les 80°C lors du deuxième jour. Ce qui explique l'influence de l'éclairement solaire sur le fonctionnement du système. Une même remarque pour la température d'entrée capteur qui atteint les 55°C lors du premier jour et 65°C lors du deuxième jour
La température de stockage commence à croitre une fois l'amorçage du thermosiphon, elle arrive jusqu'à 45°C le premier jour et 55 °C le deuxième jour.
Les différentes températures commencent à chuter en raison de l'arrêt du thermosiphon à partir de 15h. Car il n'y a plus d'apport de chaleur et la température de stockage baisse à cause des pertes thermiques vers l'air ambiant, mais faiblement grâce à son isolation.

Déroulement des tests expérimentaux

Les tests de performances ont duré sept heur les jours présenté, en continue du 9 h à 16 h. durant cette période les différentes mesures de température de stockage, entrée, sortie capteur et la température ambiante ont été prélevées toutes les 5 minutes.

Analyse des résultats obtenus

En effet la température de stockage atteigne un niveau important durant la période allant de 11 h 30 à 14 h. Heurs durant lesquelles, le rayonnement solaire est important.
On remarque une chute après 15h qui s'explique par une dégradation climatique (l'effet thermosiphon diminue au fur et à mesure que l'éclairement et la température ambiante diminuent).
Une remontée de la température de stockage est constatée au début jusqu'à atteindre les températures maximales.
Le niveau de température de stockage maximale atteint est de l'ordre de 46 °C.
Les évolutions des températures à l'entrée et à la sortie du capteur indiquent le gain d'énergie à travers le capteur solaire plan, ces dernières sont maximums durant les heurs 12, 13 et 14 h.
Leurs évolutions sont proportionnelles à l'éclairement solaire car la température ambiante varie peu.
Les températures a l'entrée et la sortie du capteur commencent à augmentées au début (généralement entre 9 h et 10 h) jusqu'à atteindre les températures maximales (Tin max = 54 °C et Tc max = 73 °C).

Détermination expérimentale de l'efficacité de l'échangeur dans la cuve

Le chauffe eau solaire étudié est muni d'un échangeur de type serpentin immergé dans la cuve de stockage. On suppose que l'échangeur de chaleur est plongé dans un milieu uniforme à température constante.
L'efficacité de l'échangeur, est déterminée expérimentalement en utilisant les valeurs moyennées des températures, entrée et sortie capteur ainsi que la température de stockage, une fois atteint le régime stationnaire [26].

Le calcule de l'efficacité s'est effectué durant la journée entre 12 h 30 et 13 h 30.
L'efficacité d'un échangeur se calcule de la manière suivante :

$$\varepsilon = \frac{T_c - T_{in}}{T_c - T_s}$$

Cette valeur de l'efficacité est relativement bonne, on peut l'augmenter soit par l'augmentation de la surface d'échange de l'échangeur soit en ajoutant un agitateur à l'intérieur de la cuve.

Calcule du rendement journalier

Le rendement journalier est défini comme le rapport entre le gain d'énergie du stockage et l'énergie reçue par le système

Les paramètres variant avec le temps dans les équations sont les températures ambiantes, les températures de l'absorbeur, les températures de stockage et l'éclairement solaire global.
Le coefficient des pertes globales de la cuve sont estimées à 2,10 W /m²°C [26].

Conclusion :

Dans ce chapitre, la modélisation du chauffe eau solaire a été présentée en procédant successivement à l'étude de ces différents composants, à savoir : la modélisation du capteur plan ainsi que le stockage avec échangeur de chaleur. Cela a permis d'aboutir à un système exprimant la variation de l'énergie interne du stockage et du capteur.

Cette modélisation nous à permis de produire plusieurs courbes de l'évolution des différentes températures journalières.
Pour avoir un soutirage, il faut que le niveau de l'eau à l'intérieur de la cuve soit toujours supérieur au niveau de la sortie de l'eau chaude.

Conclusion générale :

L'étude que nous venons de présenter, nous a permis d'approfondir et d'enrichir nos Connaissances sur les systèmes solaires, et précisément les chauffe-eau solaires, qui fonctionnent selon un principe simple et efficace, consistant à convertir les rayons électromagnétique du soleil, en une énergie calorifique qui serait transmise à un fluide caloporteur (eau) et ce, pour des besoins domestiques ou pour procès industriel.
Notre travail comporte deux grands axes : Le premier axe porte sur l'étude théorique des chauffe-eau solaires, leurs fonctionnements et leurs descriptions, ainsi que sur leurs modélisations basées essentiellement sur la théorie des capteurs, parmi les mesures de ses performances sont celles du rendement instantané et les coefficients de pertes.
Le deuxième axe comporte une étude de simulation des paramètres influant sur le bon fonctionnement des CES.
Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence des paramètres internes et externes sur le rendement instantané du capteur plan. Il apparait clairement que le rendement instantané est une fonction proportionnelle de l'irradiation solaire globale qui joue un rôle prépondérant.
En outre, l'augmentation de la température de l'ambiance favorise l'amélioration du rendement instantané du capteur. Les résultats obtenus montrent également l'influence des propriétés optiques et thermo physiques des différents composants du capteur sur son rendement instantané.
On notera ainsi que :
- L'emploi d'un absorbeur doté d'une conductivité thermique et une absorptivité élevées améliore le rendement instantané.
- La couverture transparente doit avoir une bonne transmissivité du rayonnement visible et une faible épaisseur afin de minimiser son inertie thermique.
- L'isolant doit posséder une épaisseur et une chaleur spécifique élevées, ainsi qu'une faible conductivité thermique afin d'améliorer le rendement instantané du capteur.
- -Le fluide caloporteur doit avoir une température d'entrée faible et un débit élevé.

Par ailleurs, pour avoir un bon rendement il faut :
- Maintenir une faible différence de température entre l'absorbeur et la couverture transparente afin de diminuer les pertes thermiques convectifs à l'avant du capteur.
- Choisir une température d'entrée du fluide caloporteur assez faible.
- Avoir un débit élevé pour améliorer l'énergie utile récupérée.

Références bibliographiques

[1] A. T. Singo, «système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome», Thèse Doctorat de l'université Henri Poincaré, Nancy-l,2010.

[2] A. Labouret, M. Villoz, « Energie solaire photovoltaïque », Edition le Moniteur, 3éme édition. 2006.

[3] J. M Chassériau, « Conversion thermique du rayonnement solaire », Edition Dunod,1984.

[4] J. Bernard, « Energie solaire Calculs et optimisation » Edition Ellipses2004.

[5] Y. Jannot, « Thermique solaire », Mars2011.

[6] R. Bernard, G. Menguy, M. Schwartz, « Le rayonnement solaire conversion thermique et applications », Technique et documentation, Paris,1983.

[7] « Guide des Energies Renouvelables », Ministère de l'Energie et des Mines, Edition2007.

[8] J. Bonal, P. Rossetti, « Les énergies alternatives »,Omniscience(2007).

[9] www.solairethermique.fr(consulté le25/03/2020).

[10] M. Orgeret, « Les piles solaires, le composant et ces applications », Edition Masson paris 198.

[11] A. Borni « modélisation et commande des machines électrique » thèse de magister université de Constantine 2009.

[12] N. Touil et S. Ghenbasi « Modélisation et simulation d'un système de pompage photovoltaïque », Mémoire de Master, Université d'El Oued 2015.

[13] F. Slama, « Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique », Mémoire de magister, université Ferhat Abbas, Sétif, 2011.

[14] M. Mokhtar, M. Sofiane, Mémoire de fin d'étude « Contribution à l'étude d'un système de pompage photovoltaique », promotion juin 2014.

[15] A. Sofiane, S. Massinissa, Mémoire de fin d'étude « commande non linéaire d'un moteur asynchrone utilisé dans un système de pompage photovoltaïque », université de Bejaïa, Promotion 2018

Références bibliographiques

[16] J. Buzas, I. Farkas, A. Biro, and R .Nemeth, "Modeling and simulation aspects of a solar hot water system", Mathematics and Computers in Simulation, Vol. 48, pp. 33-46, 1998

[17] www.solairethermique.fr(consulté le25/03/2020).

[18] www.lepanneausolaire.net (consulté le 13/04/2020).

[19] J. F. Sacadura, « Initiation aux transferts thermiques », CAST, INSA de Lyon, Editions technique et documentation, 2015.

[20] B. Nadjim, « Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires » Thèse de doctorat, Présentée à l'université abou-bakr belkaïd – tlemcen, Année Universitaire 2008 ~ 2009.

[21] www.tecsol.fr (consulté le 24/04/2020).

[22] www.arer.org (consulté le02/05/2020).

[23] J. Buzas, I. Farkas, A. Biro, and R .Nemeth, "Modeling and simulation aspects of a solar hot water system", Mathematics and Computers in Simulation, Vol. 48, pp. 33-46, 1998

[24] Y. Jannot, cours « transferts thermiques » 2^{éme} année, ecole des mines Nancy, 2012.

[25] J. A. Duffie et W. A. Beckman, " Solar engineering of thermal processes" . Editions Wiley & Sons, USA, 2006.

[26] S. A. Hakem, N. Kasbadji. Merzouk, M. Merzouk, « Performance journalières d'un chauffe-eau solaire », Revue des Energies Renouvelables, CICME'08Sousse, pp153-162, 2008.

[27] R. Abdssemed, « Modélisation et simulation des machines électriques », électrotechnique, technosup, les filières technologiques des enseignements supérieurs, édition ellipses, 2011

[28] H. Lekbour, S. Yargui « application de l'énergie solaire pour l'habitat » mémoire de fin de cycle, département de génie électrique, Université A. Mira de Bejaïa, 2015

Annexe A

Logiciels

- **MATLAB**

« *matrixlaboratory*» est un langage de programmation de quatrième génération émulé par un environnement de développement du même nom, il est utilisé à des fins de calcul numérique. Développé par la société The MathWorks, MATLAB permet de manipuler des matrices, d'afficher des courbes et des données, de mettre en œuvre des algorithmes, de créer des interfaces utilisateurs, et peut s'interfacer avec d'autres langages comme le C, C++, Java, et Fortran. Les utilisateurs de MATLAB (environ un million en 2004) sont de milieux très différents comme l'ingénierie, les sciences et l'économie dans un contexte aussi bien industriel que pour la recherche. Matlab peut s'utiliser seul ou bien avec des *toolbox*« boîte à outils».

Annexe B

Tableau B.1: Caractéristiques du groupe motopompe

SIX team	
	
Electropompe	1 phase
N°	37/01
Type	STP 50
Indice de Protection (IP)	54
Débit	5-35 l/min
Hauteur manométrique	37.5-5 m
Puissance	0.37 KW
Tension	230 V
Courant	2.4 A
Fréquence	50 Hz
Valeur de la capacité	8 µF
MADE IN ITALY	

Tableau B.2: Caractéristiques de l'onduleur de tension

Steca	
	
Entrée DC	
Tension nominale	12 V
Plage de tension d'entrée	10.5-16 V
Courant nominal	46 A
Puissance nominale (à 30 °C)	550 W
Sortie AC	
Tension nominale	220 V +/- 10 %
Courant nominal	2.2 A
Fréquence de sortie	50 Hz +/- 0.5 %
Cos phi admissible des consommateurs	0.3-1
Données générales	
Max. efficacité	91.5 %
Plage de température	-15 à 45 °C
Dimensions	312*245*114 mm
Poids	5.5 Kg
Indice de Protection (IP)	20

Tableau B.3: Caractéristiques de la batterie

AGM-GEL-VRLA	
	
Tnsion	12 V
Capacité	100 Ah
Courant initial moins de	30 A

Annexe C

Tableau C.1: Paramètres de simulation de la machine

Paramètres	Valeurs
Résistance rotorique	4.12 Ω
Résistance statorique	2.02 Ω
Inductance rotorique	0.00313 H
Inductance statorique	0.00854 H
Inductance mutuelle	0.180 H
Inductance auxiliaire	0.00114 H
Résistance auxiliaire	50 Ω
Coefficient de frottement	1e-6 N.m.s/rad
Moment d'inertie	0.0018 Kg/m²
Inductance mutuelle	0.180 H
Nombre de pôles	1