



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne démocratique et populaire

المركز الجامعي لعين تموشنت

Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent

Institut de Technologie

Département de Génie Mécanique



Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Energétique

PRESENTE EN VUE DE L'OBYENTION DU DIPLOME DE MASTER

Thème :

Etude et simulation d'une installation de production d'eau chaude sanitaire complexe par l'énergie solaire

Présenté Par :

- _ ZIANI Rahima
- _ MOUEDDEN Maroua

Devant les jurys composés de :

Président :

Mr GEUNDOUZ Bouhalal (MCA)

Examineurs:

Mr NEHARI Tayeb (MCA)

Encadreur : Dr SARI HASSOUN Zakaria (MCB)

Co-Encadreur : Pr ALIANE Khaled (Professeur)

Année universitaire 2019/2020

REMERCIEMENT

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu qui nous a donné la santé, la volonté et le courage d'accomplir ce travail.

Nos vifs remerciements vont à Dr SARI HASSOUN Zakaria, notre promoteur, pour son aide, ces critiques constructives, ses explications et suggestions pertinentes et pour la qualité de ses orientations tout au long de ce travail et pour avoir apporté tant de soins à la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons à remercier vivement notre Co-encadreur Pr ALIANE Khalef pour son accueil le temps passe ensemble et le partage de expertise au quotidien.

Nous remercions tout le personnel de l'entreprise ENIE pour leur accueil exemplaire et de leur aide précieuse durant notre période du stage pratique à l'entreprise et surtout mon encadreur Mr .Sofiane qui nous ont bien encadré et nous leurs exprimons toutes notre reconnaissance pour leur inoubliable dévouement.

*Nous remercions également les membres de jury qui nous font honneur en acceptant d'examiner et de juger notre travail.
Sans oublier tous les enseignants du département du génie mécanique et tout le corps administratif.*

Enfin, un merci tout particulier à tous ceux qui nous ont apporté leur soutien.

Rahima et Maroua



Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail :
À ma fabuleuse étoile ma très chère mère
À mon père : le plus bon de tous les pères
À mes chères sœurs*

Et enfin

*À mon cher binôme Maroua avec qui j'ai partagé ce
travail.*

Ziani Rahima

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en premier lieu

A mon très cher père :

*mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur.
Autant*

*de phrase ne saurait exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Tes conseils
ont toujours guidé mes pas vers la réussite, que dieu le tout puissant te
préserve, t'accorde et te protège de tous mal.*

A ma très chère mère:

*la lumière de mes jours, la source de mes efforts, tu n'as cessé de me
soutenir et m'encourager Durant toutes les années de mes études. Puisse le
tout puissant te donner longue vie afin que je Puisse te combler à mon tour.*

*A mon chère binôme ziani Rahima ,pour l'amitié et le soutien durant tous
notre parcours d'étude. Je te dédie notre travail comme preuve de respect,
gratitude et remerciement .Je te souhaite*

Beaucoup de réussites dans ta vie.

A mes petites sœurs Rihab et soundose

A ma grand-mère Halima

A Ma meilleure amis Fatima Zohra

A tous ceux qui portent le nom Mouedden

A tous mes professeurs et mes collègues d'étude

*Enfin, à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit
possible, je vous dis merci.*

Mouedden Meroua



Sommaire :

Nomenclature

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....I

Chapitre I : généralité sur l'énergie solaire

Introduction.....2

I.1 . Énergie renouvelables2

I.1.1 . L'énergie éolienne.....2

I.1 .2. L'énergie hydraulique.....3

I.1 .3. L'énergie biomasse.....3

I.1 .4. L'énergie géométrique.....3

I.1 .5. L'énergie solaire.....4

I.1.5.1. L'énergie solaire thermique.....4

I.1.5.2. L'énergie solaire photovoltaïque.....4

I.1.5.3. L'énergie solaire thermodynamique.....5

I.2. Ressource énergétique solaire.....5

I.2.1. Le soleil.....5

I.2.1.1. Position du soleil.....6

I.2.1.1.1. Coordonnées équatoriales.....6

a. La déclinaison du soleil δ	6
b. Angle horaire du soleil ω	6
I.2.1.2. Les Paramètres de temps (soleil)	7
I.2.1.3. Repérage et mesures d'ensoleillement	7
I.2.1.4. Potentiel solaire en Algérie	8
I.2.2. Le rayonnement solaire	9
a. Le rayonnement direct	10
b. Le rayonnement diffus.....	10
c. Le rayonnement réfléchi	10
d. Le rayonnement global	10
I.3. Le gisement de solaire en Algérie	11
I.4. Les capteurs solaires.....	13
I.4.1. Les types des capteurs solaires	13
I.4.1.1. Les capteurs solaires thermiques	13
I.4.1.1.1. Les différents types des capteurs solaires thermiques	13
I.4.1.1.1.1. Les capteurs solaires thermiques à eau	13
a. Les capteurs plans vitré.....	14
b. Les capteurs plans non vitré.....	15
c. Les capteurs sous vide	16
I.4.1.1.1.2. Les capteurs solaires thermiques à air	16
I.4.1.1.2. Les centrales solaires.....	16
• Les centrales à collecteurs cylindro-paraboliques	17
• Les centrales à tour (héliostat).....	18
• Les centrales paraboliques.....	19

I.4.1.1.3. Principe de fonctionnement.....	21
I.4.1.2. Les panneaux solaires photovoltaïques.....	22
I.4.1.2.1. Les modules des cellules photovoltaïques.....	23
a. Les panneaux solaires photovoltaïques composé des cellules monocristallines.....	23
b. Les panneaux solaires photovoltaïques composés des cellules poly cristallines (multi cristallin).....	24
c. Les panneaux solaires photovoltaïques cellules multifonctions	24
d. Les panneaux solaires photovoltaïques composé des cellules amorphes.....	25
e. Les panneaux solaires photovoltaïques sans silicium en couche mince CIS	25
I.4.1.2.2. Le principe de fonctionnement.....	26
I.4.1.2.3. Fonctionnement d'un panneau solaire photovoltaïque	26
I.4.2. Les composants d'un capteur solaire.....	27
• Le fluide caloporteur.....	27
• Le vitrage.....	27
I.5. Technologie de l'énergie solaire.....	28
I.6. Les avantages et inconvénients de l'énergie solaire.....	29
I.7. Énergie solaire dans le monde.....	29
I.8 Énergie solaire en Algérie.....	31
I.9. Conclusion.....	31

Chapitre II : Capteurs solaires thermiques et les chauffe eau solaire

II. Introduction	33
II.1. Les capteurs solaires	33
II.1.1 Classification des capteurs solaire	33
a. Le fluide de travail utilisé	33

• Des capteurs solaires à air.....	33
• Des capteurs solaires à eau.....	33
• La température.....	34
• Les capteurs plans non vitrés.....	34
• Les capteurs plans vitrés.....	35
• Les capteurs à tube sous vide.....	36
• Les capteurs à concentration.....	37
C. L'orientation des capteurs	38
• Des capteurs fixes.....	38
• Des capteurs à poursuite.....	38
D. Les types des composants.....	38
• La couverture.....	38
• L'absorbeur.....	39
II.2.1. Capteurs à basse température	39
II.2.1.1. Application de l'énergie solaire thermique	39
II.2.1.2. Production d'eau chaud sanitaire	40
II.2.1.3. Chauffage à basse température	41
II.2.1.4. Chauffage de l'eau de piscine	42
II.2.1.5. Climatisation par machine absorption	43
II.2.2. Capteur à moyenne température	45
II.2.2.1. Collecteurs à vide solaire	45
II.2.2.2. Collecteurs solaires de concentration	47
II.2.3. Capteur à haute température	47
• Capteur solaire parabolique.....	48
• Les centrale à tour.....	49
• Les disques paraboliques.....	50

• Les récepteurs linéaires de Fresnel.....	51
II.2.4. Capteur à très température	52
• Surchauffe du panneau solaire thermique.....	52
II.3. Définition d'un chauffe-eau solaire	53
II.4. Type de la chauffe eau solaire	53
A. CEA à thermosphon.....	54
B. CESI à circulation forcée.....	55
C. CES à auto vidage.....	56
II.5. Les composants d'une chauffe eau solaire.....	57
A. Capteurs solaires.....	57
B. Le ballon de stockage.....	58
C. L'échangeur.....	59
D. Tuyauterie.....	60
E. Groupe de sécurité.....	61
F. Fluide caloporteur.....	62
II.6. Fonctionnement d'un chauffe-eau (thermosphon)	62
II.7. Chauffage solaire de l'habitat.....	64
II.8. L'effet de serre.....	65
II.9. Effet thermosphon.....	65
II.10. Energie d'appoint.....	65
II.11. Les avantages et inconvénients	66
II.12. Conclusion	67

Chapitre III : Installation de chauffage

III. Introduction.....	69
III.1. Le confort thermique	69

III.1.2. Paramètre de confort thermique.....	70
• Température de l'air	70
• Le métabolisme humain.....	70
• La température radiative moyenne	70
• L'humidité radiative de l'air	70
• La vitesse de l'air	70
• L'habillement	71
III.2. Le chauffage.....	71
III.2.1. Le chauffage solaire.....	71
III.2.1.1. Exemple d'installation.....	73
III.2.2. Le chauffage géothermique.....	73
III.2.3. Le chauffage aérotherme.....	75
III. 3. Sources d'énergie	76
III.4. Les modes de transfert de chaleur	76
III.4.1. La conduction.....	77
III.4.2. La convection	78
III.4.3. Le rayonnement	79
III.5. Types d'installation de chauffage	79
III.5.1. Installation de chauffage à eau chaude	79
III.5.2. Installation de chauffage à air chaud	79
III. 5.3. Installation de chauffage à combustible.....	80
III.6. Les différents systèmes de chauffage.....	80
III.6.1. Chauffage individuel ou collectif.....	80
a. Chauffage individuel.....	80
b. Chauffage collectif.....	81

III.6.2. Chauffage centrale ou décentralisé.....	81
a. Chauffage centrale.....	81
b. Chauffage décentralisé ou local.....	81
III.6.3. Système de chauffage solaire.....	81
III.6.3.1. Système de chauffage de l'air.....	82
III.6.3.2. Les chauffe eau solaire.....	82
III.6.3.3. Système solaire combiné (SSC).....	83
III.7. Les éléments constitutifs d'une installation thermique	83
III.8. Principaux cas d'utilisation.....	84
III.8.1. Eau chaude sanitaire.....	84
III.8.2. Eau chaude industrielle.....	85
III.8.3. Schémas type d'installation.....	85
III.9. Etude thermique d'une installation de chauffage solaire.....	86
III.9.1. Bilan énergétique du capteur.....	86
III.9.1.1. Hypothèse.....	86
III.9.1.2. Rendement du capteur.....	87
III.9.1.3. Pertes à l'avant du capteur.....	87
III.9.1.4. Pertes à l'arrière du capteur.....	91
III.9.1.5. Pertes par les faces latérales du capteur.....	91
III.9.2. Etude thermique de l'absorbeur.....	92
III.9.3. Couverture transparente.....	94
III.9.4. Fluide caloporteur.....	96
III.9.5. Le réservoir.....	97
III.9.6. Installation de panneau solaire sur un toit plan.....	98

III.10. Les impacts sur l'environnement.....	100
III.11. Les aspects économiques.....	101
III.12. Les enjeux sociaux.....	102
III.13. Conclusion	102

Chapitre IV : Résultat et interprétations

IV. Introduction	104
IV.1. Présentation générale du logiciel Get Solar	104
IV.2. Les étapes de simulation de Get Solar	104
IV.3. Le stockage d'énergie	105
IV.3.1. Le stockage sous forme d'énergie électrique	105
• Condensateurs.....	105
IV.3.2. Le stockage sous forme d'énergie thermique	106
IV.4. La conversion thermique.....	106
IV.5. Paramètre du système (SSC)	107
IV.5.1. Par stockage	108
IV.5.2. Par circulation.....	108
IV.5.3. L'énergie conventionnelle	109
IV.5.4. Chauffage solaire.....	110
IV.6. Paramètre du capteur et le circuit solaire	111
IV.7. Modélisation et les résultats de la simulation	112

IV.7.1. Irradiation sur les capteurs, puissance du système solaire, température capteur, et la température de la chaudière.....	112
IV.7.2. Bilan énergétique	116
IV.7.3. Bilan écologique	117
IV.7.4. Tracé Graphique	118
Conclusion	120
Références bibliographiques.....	123
Résumé.....	132

NOMENCLATURE

<i>Notation</i>	<i>Unités</i>
A : surface d'échange.	(m ²)
a : Coefficients traduisant les troubles atmosphériques.	-----
Cp : La capacité calorifique	(J/kg .k)
D1 : Diamètre du soleil	(m)
D2 : Diamètre de la terre	(m)
D3 : Distance soleil-terre	(m)
ET : Equation du temps	(s)
g : Gravité	(m.s ⁻²)
Gt : L'éclairement global incident sur le capteur	(W/m ²)
G[*]t : Éclairement (densité de flux) solaire incident sur le capteur	(W/m ²)
h : Le coefficient de transfert thermique par convection	(W/m ² . k)
ΔH : décalage horaire	(s)
k : coefficient de conductivité thermique.	(w/m. k)
Kpr : Le coefficient de transfert thermique à travers la paroi de réservoir	(W/m ² k)
M : La masse	(kg)
η : Rendement instantané	%
P : Pression atmosphérique du lieu	(Pa)
q : flux de chaleur.	(W)
Q : Flux de chaleur transfère à l'eau	(W)
Qp : Flux perdu par la paroi absorbante	[W/m ²]

Nomenclature

Qu : Flux utile transmis au fluide caloporteur	[W/m ²]
Qsa : Flux solaire absorbé	[W/m ²]
Qst : Flux stocké dans le capteur	[W/m ²]
T : La température	(K)
Ta : La température ambiante	(k)
Tf : température du fluide.	(K)
TL : Temps Légal	(s)
Tp : température de la paroi solide.	(K)
TU : Temps Universel	(s)
TSM : Temps Solaire Moyen	(s)
TSV : Temps solaire vrai	(s)
Uarr : Coefficient des pertes de chaleur par l'arrière du capteur	(W/m ² K)
Uav : Coefficient des pertes de chaleur par l'avant	(W/m ² K)
Ulat : Coefficient des pertes de chaleur latérales	(W/m ² k)

Lettres grecques :

<i>Symboles</i>	<i>Unités</i>
α_p : Facteur d'absorption de la plaque absorbante.	-----
α_∞ : Coefficient d'absorption de la couverture transparente du rayonnement solaire	-----
β : L'angle d'inclinaison des deux plans	(Degré)
δ : Déclinaison solaire	(Degré)
ϵ : Émissivité thermique du matériau	-----
λ : Conductivité thermique	(W/m. K)
σ : Constante de Stefan-Boltzmann	(W/m².K⁴)
τ_c : Facteur de transmission de la couverture transparente.	-----
Φ : Latitude du lieu	(Degré)
ω : Angle horaire	(Degré)

Tableau d'indice :

Ab	Absorbé
C	Couverture
Cop	coefficient de performance
E	Eau
Fr	Fluide dans le réservoir
M	Moyenne
Per	Perdu
Pr	Paroi du réservoir
Pt	Perte thermique
R	Rayonnement
St	Stocké
U	Utile

Nombres adimensionnels :

<i>Symboles</i>	<i>Unités</i>
Nu : Nuselt	-----
Ra : Le nombre de Rayleigh	-----

Liste des figures

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire

Figure I-1 : Situation Terre – soleil.....	6
Figure I-2 : les coordonnées terrestres d'un lieu donné.....	8
Figure I-3 : Gisement solaire en Algérie.....	9
Figure I-4 : Les composants de rayonnement solaire.....	11
Figure I-5 : Énergie solaire au sol dans le monde, en kWh /m ² /an.....	12
Figure I-6 : Capteurs solaires thermiques.....	14
Figure I-7 : les composants d'un capteur plan vitré.....	15
Figure I-8 : Les capteurs non vitré.....	15
Figure I-9 : Les capteurs sous vide.....	16
Figure I-10 : capteurs cylindro-paraboliques de la centrale Nevada Solar one	17
Figure I-11 : Tour solaire	19
Figure I-12 : principe de fonctionnement d'un capteur à miroirs parabolique.....	21
Figure I-13 : Principe de fonctionnement (capteurs solaires thermiques).....	22
Figure I-14 : Les panneaux photovoltaïques.....	23
Figure I-15 : Les panneaux solaires photovoltaïques des cellules multifonctions.....	24
Figure I-16 : Les panneaux solaires photovoltaïques des cellules amorphes.....	25
Figure I-17 : Différents modules photovoltaïques au silicium.....	26
 Chapitre II : Capteurs solaire thermique et les chauffe eau solaire	
Figure II .1 : capteurs solaire à eau	34

Figure II .2 : les capteurs non vitrés.....	35
Figure II.3 : capteur solaire plan.....	36
Figure II.4 : les différents concepts de capteurs à tubes sous vide.....	37
Figure II.5 : Les capteurs à concentration.....	38
Figure II.6 : Radiateur chauffage central basse température Type 15 blanc, l. 100cm,1700w.....	42
Figure II.7: Schéma de principe d'une machine frigorifique à absorption.....	43
Figure II.8 : Tube sous vide en forme d'éprouvette (à gauche) et vue en coupe de l'extrémité d'un tube (à droite).....	46
Figure II.09 : Capteur parabolique.....	49
Figure II.10 : Les tours solaires..	50
Figure II.11: Récepteur monotube sous vide.....	51
Figure II.12 (a) : CESI thermosiphon Monobloc Figure II.12 (b) : CESI thermosiphon à éléments séparés.....	54
Figure II.13(a) : CESI à circulation forcée Figure II.13 (b) : CESI à circulation forcée sous pression auto-vidangeable.....	55
Figure II.14 : CES à circulation forcée.....	55
Figure II.15 : CES à auto vidange.....	56
Figure II.16: les composants d'un chauffe-eau solaire.....	57
Figure II.17 : capteurs solaires thermiques.....	57
Figure II.18: ballon de stockage d'un CES.....	58
Figure II.19 : échangeur sous forme d'un serpentins	59
Figure II.20 : exemple de tuyauterie industrielle.....	60
Figure II.21 : groupe de sécurité.....	61
Figure II.22: Schéma général de fonctionnement d'un chauffe eau solaire.....	62

Chapitre III : Installation de chauffage solaire

Figure III-1 : Confort thermique dans un local d’habitation.....69

Figure III-2 : Les éléments d’un système de chauffage solaire72

Figure III-3 : installation de chauffage solaire73

Figure III-4 : chauffage géothermique avec capteur vertical74

Figure III-5 : chauffages géothermiques avec capteur horizontal.....75

Figure III-6 : chauffages aérotherme.....76

Figure III-7 : Les différents échanges thermiques dans un capteur plan.....77

Figure III-8 : Constituants du système de chauffage solaire de l’eau.....82

Figure III- 9: Les systèmes solaires combinés (SSC).....83

Figure III-10 : Chauffe-eau solaire collectif avec appoint individualisé.....85

Figure III-11 : Schéma de montage de la base de support.....99

Figure III- 12 : Raccord de la base de support.99

Figure III-13 : Schéma d’Orientation de panneau.....100

Chapitre IV : Résultat et interprétation

Figure IV.1 : Les trois étapes du stockage de l’énergie thermique.....106

Figure IV.2 : Paramètres de température et de consommation pour le système combiné107

Figure IV.3 : paramètre de volume et de perte de chaleur pour SSC par stockage.....108

Figure IV.4 : paramètre du système de distribution (ecs) pour SSC par circulation109

Figure IV.5 : Paramètres de la chaudière à gaz naturel avec brûleur atmosphérique pour SSC étudié (énergie conventionnelle pour chauffage d’appoint).....110

Figure IV.6 : les Paramètres du circuit de chauffage pour le système solaire combiné.....111

Figure IV.7 : paramètre du capteur	111
Figure IV.8 : paramètre du circuit solaire	112
Figure IV.9 : l'irradiation sur les capteurs, puissance du système solaire, température capteur et la température de la chaudière pour le jour 21/03.....	113
Figure IV.10 : l'irradiation sur les capteurs, puissance du système solaire, température capteur et la température de la chaudière pour le jour 21/06.....	114
Figure IV.11 : l'irradiation sur les capteurs, puissance du système solaire, température capteur et la température de la chaudière pour le jour 21/09.....	115
Figure IV.12 : l'irradiation sur les capteurs, puissance du système solaire, température capteur et la température de la chaudière pour le jour 21/012.....	116
Figure IV. 13 : Représentation graphique de taux de couverture et le rendement(SSC).....	119

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire

Tableau I-1 : ensoleillement reçu en Algérie par régions climatique.....12

Tableau I-2 : puissance PV installée au 31/12 M WC dans 15 pays les plus équipés en PV.....30

Chapitre III : Installation de chauffage solaire

Tableau III-1 : Valeur d'Orientation de panneau.....100

Chapitre IV : Résultat et interprétation

Tableau IV. 1: bilan énergétique du SSC.....117

Tableau IV. 2 : bilan écologique du SSC.....118



Introduction générale

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) .Parmi les énergies renouvelables, l'énergie solaire est la plus dominante et aussi la Plus facilement exploitable. De part la diversité de son utilisation et l'intérêt qu'elle porte à Travers le monde, cette forme d'énergie a connu un grand essor ces dernières années.

Toutefois, le prix élevé de cette énergie par rapport au prix des énergies non renouvelables Représente un handicap face à l'expansion de son utilisation L'optimisation des dispositifs solaires est parmi les solutions recommandées afin de renverser la tendance actuelle et voir l'utilisation de l'énergie solaire se répandre d'avantage dans le monde. L'utilisation des capteurs solaires pour chauffer l'eau chaude sanitaire (ECS) est une alternative mature. Toutefois une utilisation plus large est de plus en plus envisagée surtout avec des systèmes solaires combinés, qui fournissent de la chaleur pour l'eau chaude sanitaire et pour le chauffage des locaux. Ces systèmes combinés sont bien plus complexes, demandant plus d'attention dans la phase de conception et des systèmes de régulation automatique adéquats pour obtenir la performance souhaitée pendant le fonctionnement.

Notre travail pour but d'étudier un système d'eau chaude sanitaire complexe par simulation en utilisant le logiciel Get Solar .

Le mémoire est structuré en quatre chapitres :

Le premier chapitre porte sur l'étude théorique de l'énergie solaire ainsi que le gisement solaire Algérien plus les différents types des capteurs solaires thermiques .Ensuite dans le second chapitre nous présentons les capteurs solaires thermiques et les chauffe eau solaire.

Après nous présentons dans le chapitre quatre l'installation de chauffage solaire

Enfin, dans le dernier chapitre nous présentons et interprétons nos résultats de la simulation.

Tout ce travail sera clôturé par une conclusion.



I- Introduction :

Issue de la nature, l'énergie se présente sous deux formes :

Les énergies non renouvelables, qui sont d'origine fossile, le pétrole, le charbon, le Gaz sont parmi les plus connues et deuxième forme c'est Les énergies renouvelable dont les plus importantes sont : le solaire, l'éolien, et la Géothermie. Elles trouvent leurs sources dans les différents flux énergétiques Naturels incidents sur la terre, qui est essentiellement : Le rayonnement solaire, qui procure 99,97% de sa densité thermique. [1]

Parmi toutes les énergies renouvelables, l'énergie solaire est la plus éminente, elle est Également à l'origine de la plupart des sources d'énergies utilisées par l'homme. [2]

Dans ce chapitre nous allons présenter les sources de base d'énergie solaire et les différents Types Des captures solaires qui se fait généralement sous deux formes capteurs solaires thermiques et capteurs solaires photovoltaïques et technologie de l'énergie solaire

I.1- Energie renouvelables :

Les énergies renouvelables (soleil, vent, eau, biomasse) sont des sources d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérées comme inépuisables à l'échelle de l'homme. D'une façon générale, les énergies renouvelables sont des modes de production d'énergie utilisant des forces ou des ressources dont les stocks sont illimités, constituent un don divin, sont naturels et en général amis de la nature. On peut dire alors qu'une source d'énergie est renouvelable si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future. En plus de leur caractère illimité, ces sources d'énergie sont peu ou pas polluantes. Le solaire, l'éolien, l'eau, et la biomasse génère certains gaz polluants, mais en bien moindre quantité que des carburants fossiles. [3]

I.1.1- L'énergie éolienne :

Auparavant, il était question de moulins à vent avec des pales en forme de voile, qui Utilisaient l'énergie mécanique pour actionner des équipements tels que des pompes. Aujourd'hui, on ne parle plus de moulins a vent, mais d'éoliennes. Sous la force du vent, elles Produisent des forces mécaniques ou électriques qui sont utilisées pour générer de l'électricité

Qui va être injectée sur l'installation électrique d'une habitation (consommation directe) ou dans un réseau de distribution (consommation indirecte). Etant donné qu'elles prennent trop d'espace, elles sont le plus souvent placées en mer. Mais pour un usage domestique, il en existe des modèles réduits [4].

I.1.2- l'énergie hydraulique :

A l'instar de l'énergie éolienne, les énergies hydrauliques (à l'exception de l'énergie Marémotrice) ont leur origine principale dans les phénomènes météorologiques et donc l'énergie solaire. Le soleil provoque l'évaporation de l'eau, principalement dans les océans et en liberté une partie sur les continents à des altitudes variables. On parle du cycle de l'eau pour décrire ces mouvements. L'eau (en fait, la vapeur d'eau) possède, en altitude, une énergie potentielle de pesanteur ; cette énergie peut être captée et transformée dans des barrages hydroélectriques, lors du retour de l'eau vers les océans. Avant l'avènement de l'électricité, les moulins à eau permettaient de capter cette énergie mécanique pour entraîner des machines ou des outils (machines à tisser, moulins à moudre le blé, etc.). Depuis l'invention de l'électricité cette énergie mécanique est transformée en énergie électrique ; l'hydroélectricité est après la biomasse, la deuxième énergie renouvelable : selon l'Agence internationale de l'énergie, elle fournit 2,4 % de l'énergie primaire produite dans le monde en 2014 (contre 1,8 % en 1973), sur un total de 14,1 % d'énergies renouvelables (12,4 % en 1973) [5].

I.1.3-Biomasse

L'énergie est issue de la combustion de matériaux dont l'origine est biologique (ressources naturelles, cultures ou déchets organiques). On en distingue trois catégories principales :

- ✓ Le bois.
- ✓ Le biogaz.
- ✓ Les biocarburants. [6]

I.1.4- L'énergie géothermique :

La géothermie consiste à exploiter la chaleur présente dans le sol et l'utiliser sous forme de chauffage ou la transformer en électricité, à l'aide de pompes et de turbines. Nous avons donc sous nos pieds, une source de chaleur disponible en permanence et qui ne dépend pas des éléments atmosphériques, mais de la radioactivité naturelle des roches du noyau et de la

Croûte terrestre. Selon la température des différentes couches du sol, on qualifie la géothermie De « haute énergie » (150 °C), « moyenne énergie » (entre 90 et 150 °C), « basse énergie » (Entre 30 et 90 °C) et de « très basse énergie » (moins de 30 °C). Ainsi, plus on s'enfonce dans la terre, plus la température y est élevée et on pourra en faire des usages différents. [4]

I.1.5- L'énergie solaire :

L'énergie solaire est une énergie inépuisable et propre à l'échelle humaine, elle permet de respecter l'environnement et de préserver la santé et les ressources énergétiques. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité à partir des panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil captée par des panneaux solaires qui permet de récupérer l'énergie du soleil et de produire de l'électricité. [7]

I.1-5-1- L'énergie solaire thermique :

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

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

I.1.5.2- L'énergie solaire photovoltaïque :

Elle permet de produire de l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Les photopiles utilisent l'effet photovoltaïque, elles sont formées d'une couche d'un matériau semi-conducteur et d'une jonction semi-conductrice. Le silicium est le plus employé ; cependant, l'arséniure de gallium offre des meilleures performances, mais reste beaucoup plus onéreux. [8]

Le matériau de base utilisée actuellement et silicium celui si est ce trouve en très grand continu sur notre planète puisqu'il constituer environ 28 % de l'écorce terrestre. Cependant, l'arséniure de gallium offre des meilleures performances mais restent beaucoup plus onéreux [2]

I.1.5.3- L'énergie solaire thermodynamique :

Les centrales solaires thermodynamiques concentrent le rayonnement solaire pour chauffer un fluide à une température beaucoup plus élevée que celle atteinte par les systèmes présentés à la section précédente. En fait, l'énergie dégagée par les systèmes solaires Thermodynamiques est suffisante pour actionner des turbines à vapeur et produire de l'électricité.[9]

Trois types principaux de centrales sont utilisés :

Les centrales à capteurs cylindre-paraboliques pour atteindre des températures entre 300 et 350 °C. Les centrales à capteurs paraboliques pour atteindre des températures de 1000°C ou Plus. Les centrales à tour pour atteindre 1000 °C. [8]

La solaire thermique basse température (inférieur à 400°C) est très efficace en matière de chauffage individuel. Si les panneaux thermiques utilisés pour convertir le rayonnement solaire en chaleur sont encore relativement chers à l'achat, l'entretien est limité et la rentabilité rapide. Cette énergie qui ne dégage pas de gaz à effet de serre est très utilisée en architecture bioclimatique. L'installation panneaux thermiques + chauffe-eau solaire individuel (CESI), la plus simple à mettre en œuvre, permet de chauffer une grande partie de l'eau sanitaire d'une maison tout en réalisant d'importantes économies. Pour une combinaison production d'eau chaude sanitaire + chauffage, il faut utiliser des systèmes solaires combinés (SSC). Ils possèdent les mêmes atouts que les CESI : un bilan écologique excellent, des résultats performants, des économies importantes. [10]

I.2- Ressource énergétique solaire:

I.2.1- le soleil :

Le soleil est une étoile située à environ 150 millions de kilomètres de la Terre. Vu de notre Planète, il se présente sous la forme d'un disque assez homogène, son rayon est 109 fois celui de la Terre (soit 696 000 km) et sa masse 333 000 fois celle de notre planète (soit 2.1030 kg). [11]

Le soleil est composé de 80% d'hydrogène, de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments lourds (Fer, Néon, Azote, Silicium, ...).

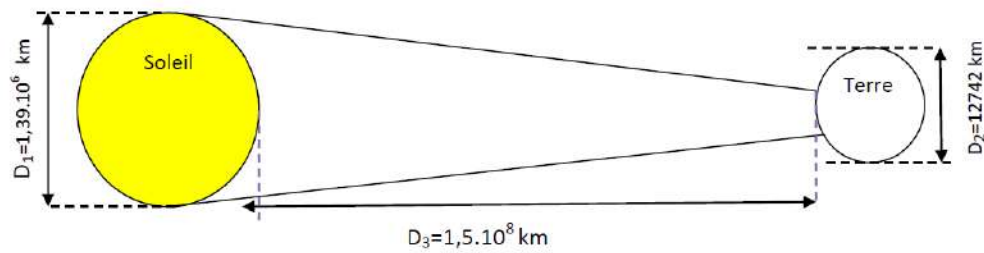


Figure I-1 : Situation Terre – soleil

I.2.1.1- Position du soleil :

La position du soleil est repérée à chaque instant de la journée et de l'année par deux Systèmes de coordonnées différents :

I.2.1.1.1- Coordonnées équatoriales :

Le mouvement du soleil est repéré par rapport à un plan équatorial de la Terre à l'aide de Deux angles ; la déclinaison δ et l'angle horaire ω .

a- La déclinaison du soleil δ :

La déclinaison est l'angle que fait la direction d'observation du soleil avec sa projection sur le Plan équatorial. Elle est exprimée en degrés ($^{\circ}$), minute (m) et seconde (s) d'arc. Elle traduit L'inclinaison du plan équatorial par rapport au plan écliptique. En considérant la déclinaison comme constante sur une journée, l'équation de Copernic Fournit la relation qui relie ces deux grandeurs :

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360+d}{365}\right) \quad (\text{I.1})$$

d : est le numéro du jour de l'année à partir de premier Janvier (variant de 1 à 365)

La déclinaison solaire varie de -23.45° au solstice d'hiver à $+23.45^{\circ}$ au solstice d'été et elle Est nulle aux équinoxes, et cette variation entraine des variations de la hauteur du soleil Pour un même site

b- Angle horaire du soleil (ω) :

L'angle horaire est l'angle que fait le plan contenant le cercle horaire de l'astre avec le plan Contentent le méridien céleste. Il mesure la course du soleil dans le ciel. L'angle horaire

Définit le temps solaire vrai TVS, il est midi TSV si $\omega=0$. Exprimé en après-midi et augmente de 15° par heure (un tour de 360° en 24 heures). L'angle horaire $\omega(^\circ)$ est donné par la Formule suivante :

$$\omega = 15(\text{TSV} - 12) \quad (\text{I.2})$$

TSV : est temps solaire vrai en heure. [12]

I.2.1.2- Les paramètres de temps (soleil) :

On distingue :

- Le temps solaire vrai (**TSV**) est l'angle horaire entre le plan méridien passant par le centre

Du soleil et le méridien du lieu considéré, il est donné par l'expression :

$$\text{TSV} = 12 + \omega \quad (\text{I.3})$$

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

$$\text{TSV} - \text{TSM} = \text{ET} \quad (\text{I.4})$$

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

$$\text{ET} = 9.87 \times \sin(2 \times N') - 7.53 \times \cos(N') - 1.5 \times \sin(N') \dots \dots \dots (\text{I.17}) \quad N' = (n - 81) \times 360365 \dots \quad (\text{I.5})$$

- Le temps universel (TU) est le temps moyen de Greenwich :

$$\text{TU} = \text{TSM} - \lambda \quad (\text{I.6})$$

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

$$\text{TL} = \text{TU} + \Delta H \quad (\text{I.7})$$

ΔH : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré. [13]

I.2.1.3- Repérage et mesures d'enseulement

- **Repérage du soleil dans le ciel**

La hauteur du soleil est une donnée principale pour la cause suivante :

- Cette hauteur contribue clairement dans les calculs énergétiques.
- L'installation dans un site donné exige une étude des effets appuyés par l'environnement

Tout point de la sphère terrestre peut être repéré par deux coordonnées, appelées coordonnées terrestres, à savoir : sa latitude ' φ ', qui est positive dans l'hémisphère Nord, elle est négative

Dans l'hémisphère Sud, et sa longitude ' λ ' positive à l'Ouest négative à l'Est (voir Fig. I.02). La méridienne origine, servant à la mesure de la longitude, est celui de Greenwich. [14]

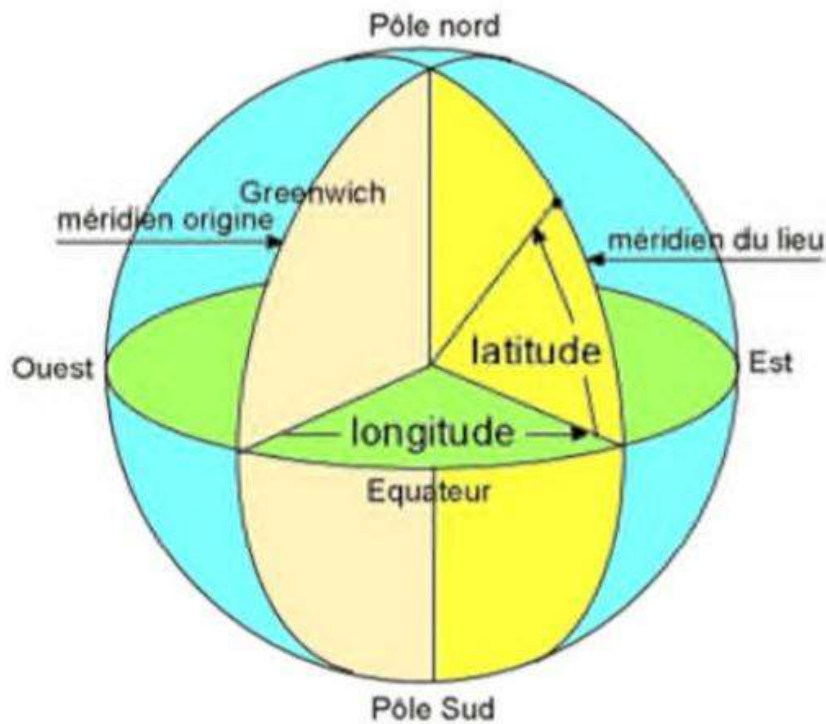


Figure I-2 : les coordonnées terrestres d'un lieu donné [3].

I.2.1.4- Potentiel 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 le quasi totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (Hauts-Plateaux et Sahara).

L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 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 ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie. [15]

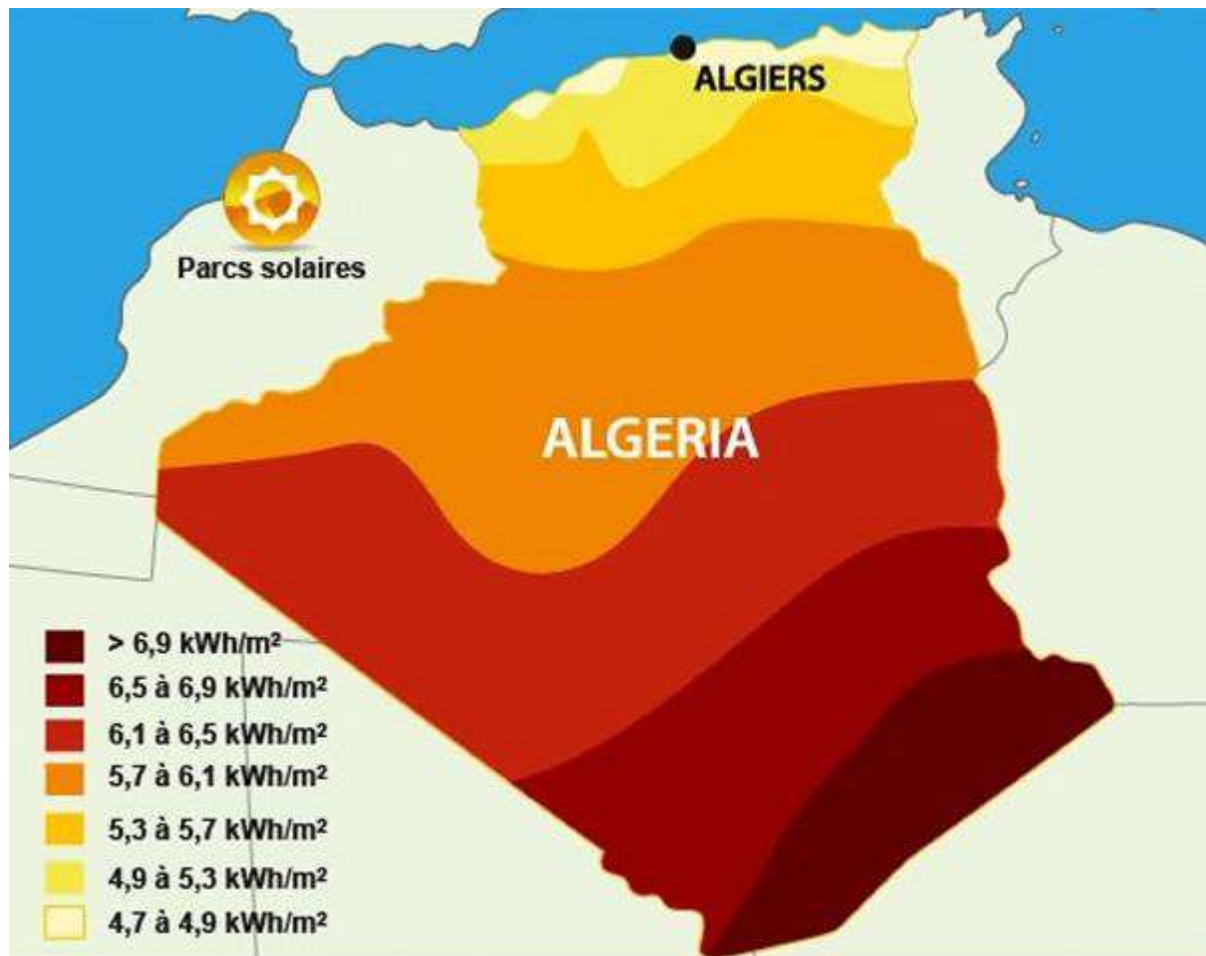


Figure I-3 : Gisement solaire en Algérie

I.2.2- Le rayonnement solaire :

L'énergie reçue au niveau du sol est plus faible que 1354 w/m² (la constante solaire) car l'atmosphère absorbe une partie du rayonnement solaire (environ 15%) et la réémet dans toutes les directions sous forme de rayonnement diffus.

L'atmosphère réfléchit une autre partie du rayonnement solaire vers l'espace (environ 6%). Le rayonnement global au niveau du sol se définit donc comme la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus (figure I.1). L'énergie reçue par une surface dépend en outre de la Saison, de la latitude, des conditions météorologiques, du relief, de la pollution, de l'orientation de la surface considérée, etc.

a- Le 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 droite et par temps clair.

b- Le 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 voûte céleste.

c- Le 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. [16]

d- Le rayonnement global :

On appelle rayonnement global le rayonnement solaire parvenant au niveau du sol sur une surface horizontale, soit directement, soit après diffusion. Il s'exprime simplement comme la somme du rayonnement diffus et du rayonnement direct. [17]

$$G=I+D \quad (I.8)$$

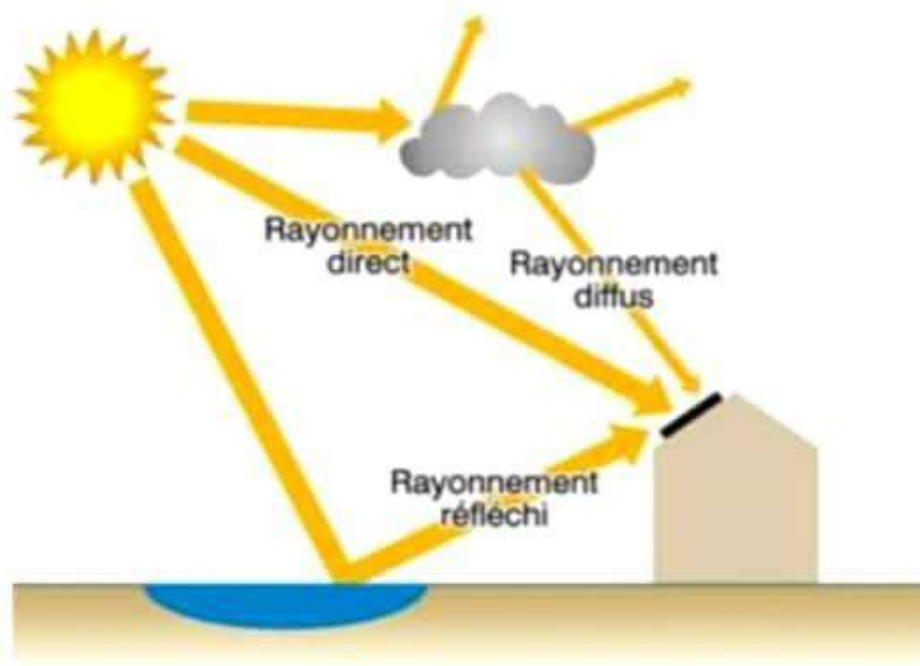


Figure I-4 : Les composants de rayonnement solaire

I.3- Le gisement de solaire en Algérie :

L'Algérie dispose d'un gisement solaire important encore inexploité. Cette forme d'énergie présente beaucoup d'avantages en conversion thermique pour le chauffage et la production d'électricité principalement. C'est une forme d'énergie disponible, économique, non polluante et nécessite peu d'entretien. [8]

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire. De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure I.1. [18]

L'irradiation solaire annuelle sur l'ensemble de la planète au niveau de la mer (754 million de T Wh) représente plus de 5 000 fois l'énergie que nous consommons. Sur le long terme (environ 50 ans) le potentiel extractible des différentes sources d'énergie renouvelable pourrait en pratique couvrir la consommation mondiale actuelle : La photosynthèse en premier avec 6 G tep (70 000 T Wh), puis le vent avec 1.7 G tep (20 000 T Wh), l'hydraulique 14 à 20 000 T Wh, dont le potentiel théorique mondial est d'environ 40 000 T Wh, le solaire installé sur les

Toits des bâtiments industriels, commerciaux, tertiaires et domestique 0.25 G tep (2 900 T Wh), et la géothermie des couches profondes 0.2 G tep (2 300 T Wh) [19]. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau I.1 selon l'insolation reçue annuellement. [18]

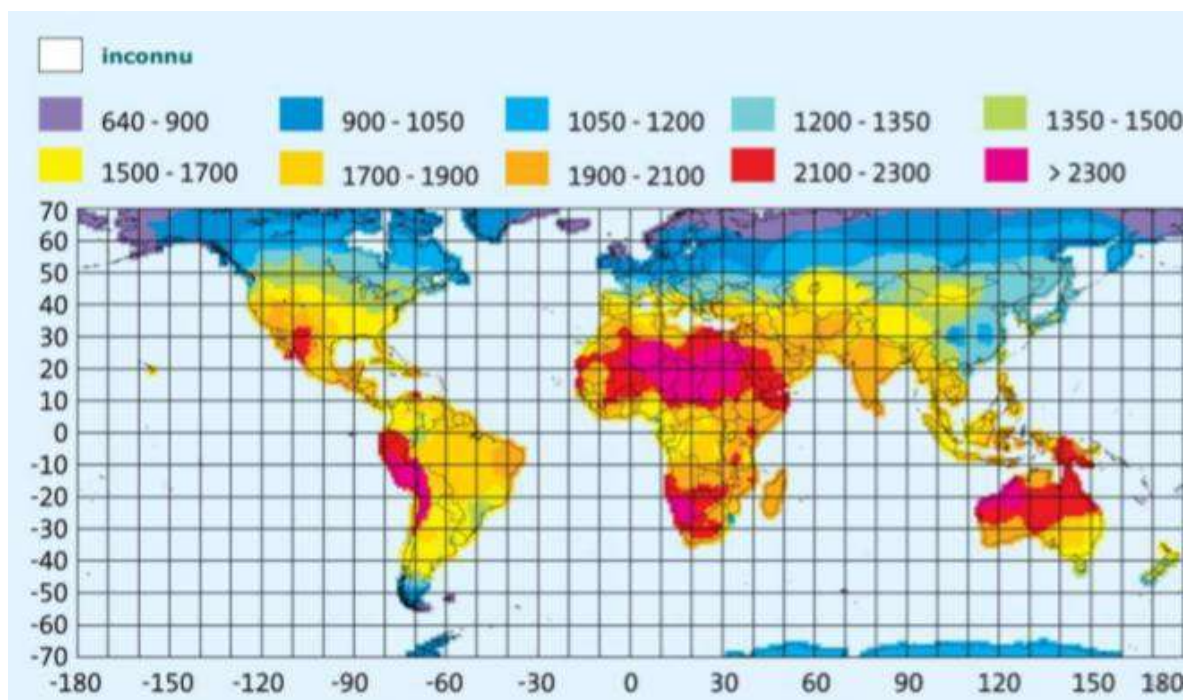


Figure I-5 : Énergie solaire au sol dans le monde, en kWh /m²/an

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

Tableau I-1 : ensoleillement reçu en Algérie par régions climatique

I.4- Les capteurs solaire :

I.4.1- Les type des capteurs solaires :

Un capteur solaire est destiné à récupérer une partie du rayonnement solaire pour le Convertir en énergie. Ces capteurs solaires peuvent être classés sous deux catégories distinctes. [20]

I.4.1.1- Les capteurs solaires thermique :

La production de cette capteur être soit utilisée directement (pour chauffer un bâtiment par exemple) ou indirectement (comme la production de vapeur d'eau pour entraîner des alternateurs et ainsi obtenir une énergie électrique). [21]

I.4.1.1.1- Les différentes Types des capteurs solaires thermiques :

Le rôle du capteur solaire, qu'on appelle aussi le panneau solaire, est de convertir la lumière du soleil en chaleur pour alimenter le chauffe-eau solaire. [22]

Il ya deux type capteurs solaires thermiques à eau et capteurs solaires thermiques à air :

I.4.1.1.1.1- Les capteurs solaires thermiques à eau:

Les capteurs solaires à eau sont utilisés pour le chauffage et/ou pour produire de l'eau chaude sanitaire. Il existe trois types de capteurs solaires thermiques :

Les capteurs plans dans lesquels le fluide passe dans un serpentin sous une vitre; ils sont peu Coûteux, fonctionnent avec un bon rendement, mais seulement pendant l'été. [23]

Ce type de capteur se présente sous forme de caissons de différentes dimensions ou sous forme d'éléments séparés à intégrer directement dans l'architecture des bâtiments .

- ✓ **L'absorbeur** : Pour améliorer le rendement des capteurs, les absorbeurs sont recouverts d'un revêtement qui sont de couleur noire afin d'absorber le rayonnement solaire au maximum.

- ✓ **Le vitrage** : Le vitrage a pour fonction de laisser passer le maximum du rayonnement solaire et d'éviter les déperditions de chaleur vers l'extérieur lors de la montée en température de l'absorbeur. [24]

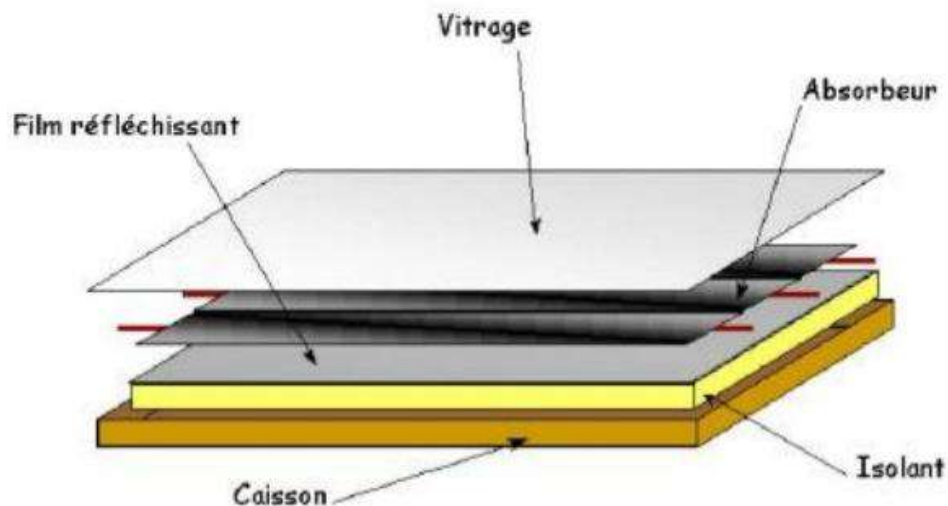


Figure I-6 : Capteurs solaires thermiques

a- Les capteurs plans vitrés :

Cette sorte de capteurs fait appel à un fluide caloporteur qui est pour la plupart de temps de l'eau mélangé à un anti-gel alimentaire. [25]

Un capteur plan vitré se compose des éléments fondamentaux suivants : Un boîtier, un joint d'étanchéité, un couvercle transparent, une isolation thermique, une plaque absorbante, les tubes traversés par le fluide caloporteur. [26]

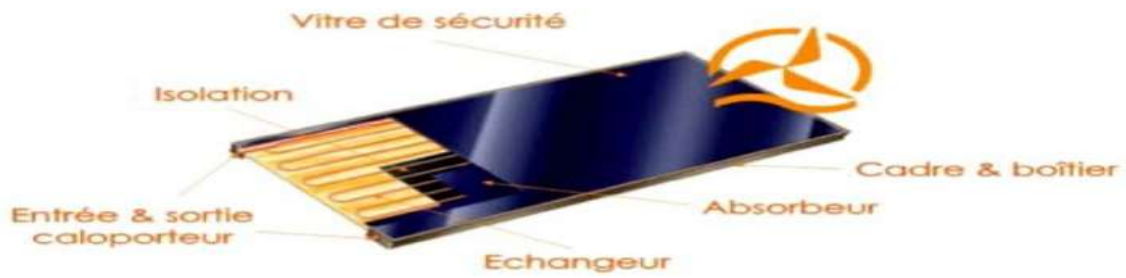


Figure I-7: les composants d'un capteur plan vitré

b- Les capteurs plans non vitrés :

C'est un capteur qui par contre, est très dépendant de la température de l'air. Performant l'été, il présente une grande sensibilité au vent froid l'hiver par son absence de vitrage.[22] Les capteurs non vitrés sont les plus utilisés pour chauffer les piscines. Ils peuvent être posés à même le sol, à proximité du bassin. [27]



Figure I-8 : Les capteurs non vitrés

c- Les capteurs sous vide

Les capteurs solaires "sous vide" sont composés d'une série de tubes en verre Transparents. Dans chaque tube il y a une plaque absorbante pour capter le Rayonnement solaire et un échangeur pour favoriser le transfert de l'énergie thermique. [22]



Figure I-9: Les capteurs sous vide

I.4.1.1.2- Les capteurs thermiques à air :

Dans les capteurs thermiques, l'air circule et s'échauffe au contact des absorbeurs. Elle est alors chauffée puis ventilé dans les logements pour le chauffage. [23]

I.4.1.1.2- Les centrales solaires :

Il existe 3 types de centrales solaires, en fonction de la méthode de focalisation des rayons solaires :

➤ **Les centrales à collecteurs cylindro-paraboliques :**

De longs miroirs tournent autour d'un axe horizontal pour suivre la course du soleil. Les rayons sont concentrés sur un tube dans lequel circule le fluide qui servira à transporter la chaleur vers la centrale. [28] La technologie de réflecteurs cylindro-paraboliques est la plus fréquente et est actuellement utilisée par les plus puissantes centrales solaires au monde dans le Sud-ouest des Etats-Unis et dans le Sud de l'Espagne. Ce type de centrale se compose d'alignements parallèles de longs miroirs hémicylindriques, qui tournent autour d'un axe horizontale pour suivre la course du soleil. Les rayons solaires sont concentrés sur un tube horizontal, où circule un fluide caloporteur qui servira à transporter la chaleur vers la centrale elle-même. La température du fluide peut monter jusqu'à 500° C. Cette énergie est transférée à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine qui produit de l'électricité. Certaines centrales sont désormais capables de produire de l'électricité en continu, nuit et jour, grâce à un système de stockage de la chaleur.



Figure I-10 : capteurs cylindro-paraboliques de la centrale Nevada solar one

Avantage :

- ✓ Source d'énergie inépuisable et gratuite
- ✓ Pas d'émission polluante
- ✓ Peu fonctionner sans intermittence

Inconvénients :

- ✓ Nécessite un fort ensoleillement et une zone chaude
- ✓ Surface au sol importante. [29]
- **Les centrales à tour (héliostat)**

Les centrales solaires à tour sont constituées de nombreux miroirs concentrant les rayons Solaires vers un point situé au sommet d'une tour, Figure II-7. Les miroirs uniformément Répartis sont appelés héliostats. Chaque héliostat est orientable, et suit le soleil Individuellement et le réfléchit précisément en direction du receveur au sommet de la tour Solaire

Les miroirs uniformément répartis sont appelés héliostats. Chaque héliostat traque le soleil Individuellement (motorisation sur 2 axes) et réfléchit le rayonnement solaire sur la chaudière (Récepteur). Le facteur de concentration varie de 600 à plusieurs milliers, ce qui permet D'atteindre des températures importantes, de 800 °C à 1000°C. [30]

L'énergie concentrée sur le receveur est ensuite soit directement transférée à un fluide Thermodynamique (génération directe de vapeur entraînant une turbine ou chauffage d'air Alimentant une turbine à gaz), soit utilisée pour chauffer un fluide caloporteur intermédiaire. Ce liquide caloporteur est ensuite envoyé dans une chaudière et la vapeur générée actionne Des turbines. Dans tous les cas, les turbines entraînent des alternateurs produisant de L'électricité. Les tours peuvent générer de la vapeur saturée ou surchauffée directement, ou utiliser de l'air Ou d'autres fluides de transfert de chaleur. Les hautes températures atteintes dans les tours solaires peuvent être utilisées pour alimenter Non seulement un cycle de Rankine, mais aussi une turbine à gaz et un cycle

Combiné. Ce système de centrale permet un rendement récepteur (énergétique solaire/chaleur) de 80%, Un rendement turbine de 50% et un rendement annuel solaire-électrique de 25%. [31]

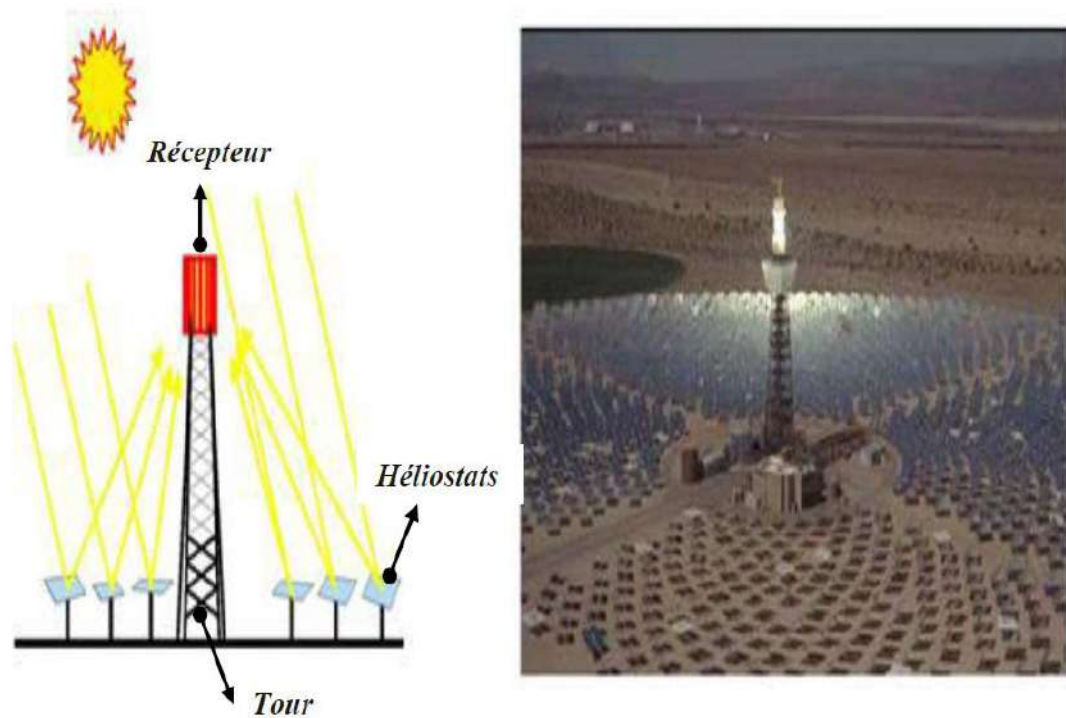


Figure I-11 : Tour solaire

➤ **Les centrales paraboliques :**

Le miroir parabolique réfléchit les rayons du soleil vers un point de convergence, le rayonnement solaire est alors concentré sur le récepteur qui monte en température. Le récepteur en question est un moteur Stirling qui fonctionne grâce à la montée en température et en pression d'un gaz contenu dans une enceinte fermée. Ce moteur convertit l'énergie solaire thermique en énergie mécanique et ensuite en électricité. Tout au long de la journée, le socle de la parabole s'oriente automatiquement face au soleil pour suivre sa course et ainsi profiter d'un ensoleillement maximum. Les systèmes à réflecteur parabolique peuvent atteindre 1 000 °C sur le récepteur, et parvenir à des rendements optimaux de conversion de l'énergie solaire en électricité en utilisant une faible quantité d'énergie. La performance de l'ensemble du système est étroitement liée à la qualité optique de la parabole et au rendement du moteur Stirling.

Avantage :

- ✓ Source d'énergie inépuisable et gratuite
- ✓ Pas d'émissions polluantes
- ✓ Bon rendement
- ✓ Petites unités indépendantes

Inconvénients :

- ✓ Fonctionnement par intermittence. [32]

Les Dish Stirling sont des unités entièrement autonomes et automatiques (mini centrale) Utilisées pour la production décentralisée d'électricité de 10 à 25 kW. C'est en associant Plusieurs Dish Stirling que l'on constitue une centrale de haute puissance. Le rendement global de ce système est de 20 à 25 %, pour 50 m² d'interception. (Record de Production d'électricité solaire). C'est le concurrent direct des petits champs photovoltaïque De 3 à 30 kW (petites puissances). Dans le cas des cycles de Baryton, une technologie semblable à celle des tours solaire est Utilisée: le rayonnement solaire est absorbé par une substance poreuse, qui réchauffe l'air D'alimentation du cycle. Cette méthode offre un rendement énergétique de 40%. [33]

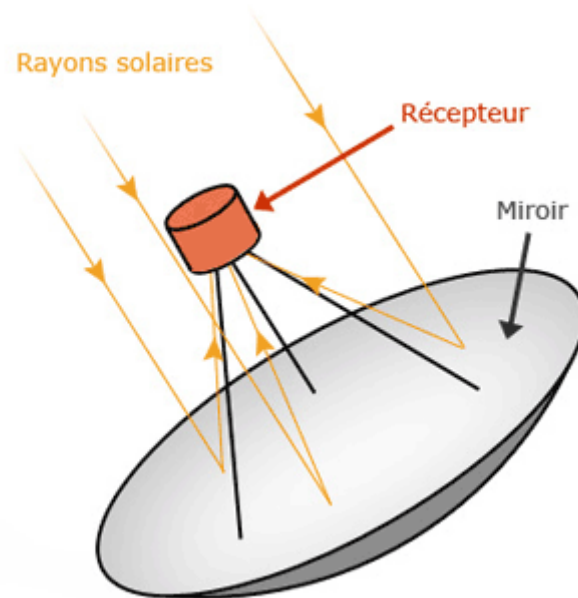


Figure I-12 : principe de fonctionnement d'un capteur à miroirs parabolique

I.4.1.1.3- Principe de fonctionnement :

Les capteurs solaires transforment le rayonnement solaire en chaleur grâce à un absorbeur (un corps noir caractérisé par des propriétés d'absorption très élevées et d'émissivité très basse). L'absorbeur transfère la chaleur à un fluide caloporteur (généralement de l'eau glycosée) circulant au travers de chacun des capteurs. Lorsque la différence de température entre la sonde capteur (T_1) et la sonde en fond de ballon (T_2) dépasse quelques degrés, les circulateurs s'enclenchent. Le fluide caloporteur, circulant dans le circuit primaire, achemine alors l'énergie solaire depuis les capteurs vers le(s) ballon(s) de stockage à travers un échangeur. Le(s) ballon(s) de stockage accumule(nt) la chaleur produite. Si nécessaire, une source d'énergie d'appoint porte l'eau préchauffée à la température souhaitée. Celle-ci est alors acheminée vers les points de puisage par la boucle de distribution. Un dispositif de régulation électronique commande le fonctionnement du système (circulateurs et appoints) selon les conditions d'ensoleillement et la demande en eau chaude. [34]

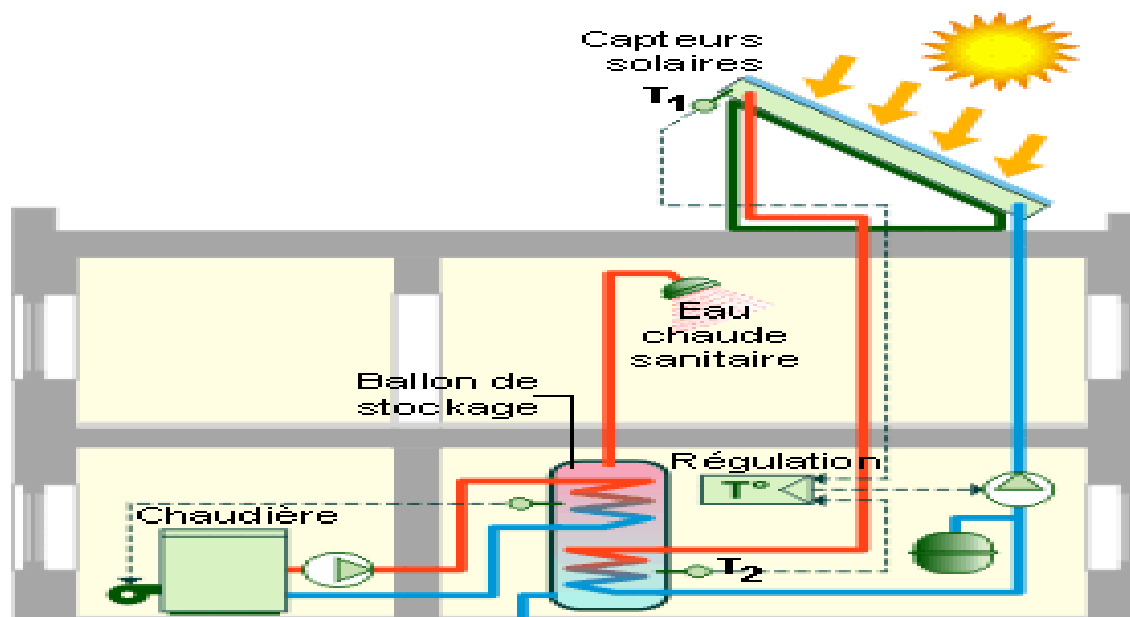


Figure I-13 : Principe de fonctionnement (capteurs solaires thermiques)

I.4.1.2- Les panneaux solaires photovoltaïque :

Le terme « photovoltaïque » souvent abrégé par le sigle « PV », a été formé à partir des mots « photo » un mot grec signifiant lumière et « Volta » le nom du physicien italien Alessandro Volta qui a inventé la pile électrochimique en 1800. L'effet photovoltaïque est la conversion directe de l'énergie solaire en électricité

L'énergie photovoltaïque est obtenue directement à partir du rayonnement du soleil. Les modules photovoltaïques composés des cellules photovoltaïques à base de silicium ont la capacité de transformer les photons en électrons. La conversion photovoltaïque se produit dans des matériaux semi-conducteurs. L'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable. [35]

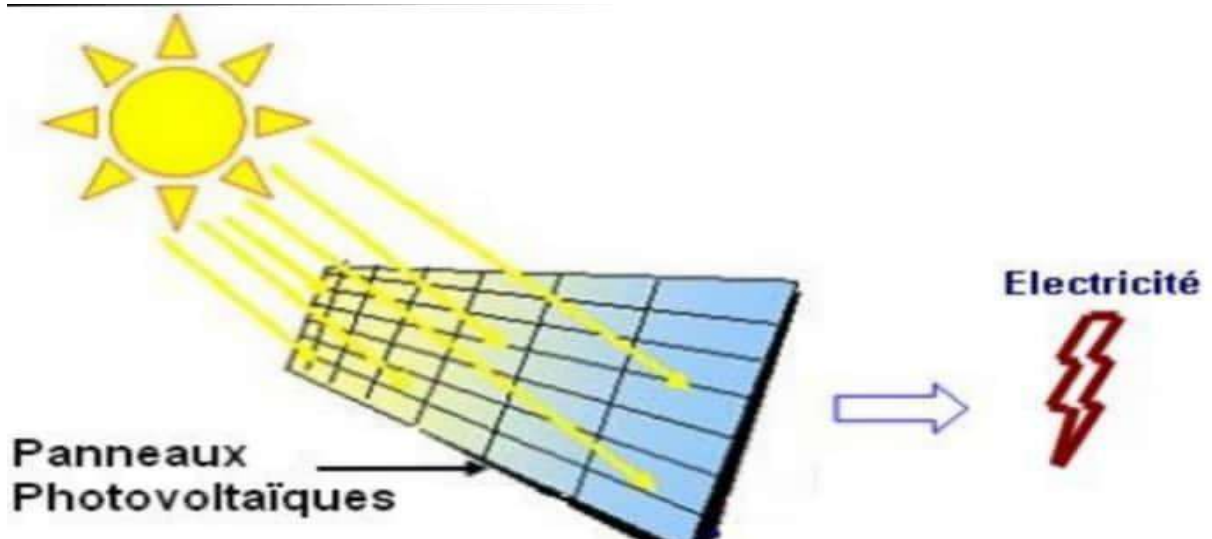


Figure I-14 : Les panneaux photovoltaïques

I. 4.1.2.1- Les module des cellules photovoltaïques :

a. Les panneaux solaires photovoltaïques composés de cellules monocristallines :

- Cher à fabriquer et coûteux en énergie, il présente un bon rendement à fort et Moyen éclairement (à partir de $100\text{W}/\text{m}^2$). Tous usages en extérieur de forte et moyenne Puissance.
- Rendement typique : 16 à 24%.
- Plus sensible dans l'infrarouge.
- Couleur : bleu marine/noir uniforme.
- Rendement record : 32%.

b- Les panneaux solaires photovoltaïques composés des cellules poly cristallin ou multi cristallin :

- Moins onéreux que le monocristallin et aussi un peu moins performant, il est utilisé essentiellement aux éclaircissements modérés (à partir de 200W/m²).
- Rendement typique : 14 à 18%. Technologie la plus utilisée actuellement car c'est un bon compromis entre prix et performance. Couleur « mosaïque bleutée ». [36]

c- Les panneaux solaires photovoltaïques composés des cellules multifonctions :

Les panneaux solaires à cellules multi-jonction sont composés de différentes couches et permettent de convertir différentes parties du spectre solaire. Ces panneaux solaires photovoltaïques ne sont disponibles que pour les applications spatiales pour le moment.



Figure I-15 : Les panneaux solaires photovoltaïques des cellules multifonctions

D- Les panneaux solaires photovoltaïques composés des cellules amorphes :

Les cellules amorphes du panneau solaire photovoltaïque sont produites à partir d'un gaz de silicium. Le rendement de ce type de panneau solaire est 2 à 3 fois plus faible que celui des.



Figure I-16 : Les panneaux solaires photovoltaïques des cellules amorphes

E- Les panneau solaire photovoltaïque sans silicium en couche mince CIS :

Les cellules CIS représentent la nouvelle génération de cellules solaires de type Cuivre-Indium-Sélénium. Les matières premières nécessaires à la fabrication de ces cellules sont Plus faciles à se procurer que le silicium utilisé dans les cellules photovoltaïques Classiques. Le rendement de ce type de panneau solaire est de 9 à 11 %. En outre, une Grande surface est nécessaire afin d'obtenir un bon rendement. [37]

Différents modules photovoltaïques au silicium



Figure I-17 : Différents modules photovoltaïques au silicium

I.4.1.2.2- Le principe de fonctionnement :

Comprendre le fonctionnement d'un panneau solaire photovoltaïque est essentiel lorsque l'on souhaite recourir cette technologie. Le module solaire photovoltaïque est un système capable de capter l'énergie envoyée par le soleil vers la terre, et de le convertir en courant électrique continu. Il existe également des équipements qui produisent de l'eau chaude à partir de l'énergie solaire.

I.4.1.2.3- Fonctionnement d'un panneau solaire photovoltaïque :

Le fonctionnement d'un panneau solaire photovoltaïque :

- ✓ Un module composé de cellules photovoltaïques transformant l'énergie en tension électrique continue
- ✓ Un système de montage, également appelé système d'intégration à la toiture qui ancre le panneau photovoltaïque au bâti
- ✓ Un abrévement qui établit une jonction étanche entre le panneau et le reste de la toiture

A cela s'ajoutent les équipements électriques, et en particulier l'onduleur qui transforme le courant continu en courant alternatif et permet d'alimenter votre maison, ou le réseau public de distribution d'électricité. Le prix d'achat d'un panneau, solaire photovoltaïque reste élevé, mais baisse d'année en année de plus des aides financiers sont disponibles à fin de vous aider à assumer le coût de départ. [38]

I.4.2- Les composants d'un capteur solaire :

✓ **Le fluide caloporteur**

Pour évacuer la chaleur stockée par la plaque absorbante on utilise généralement comme fluide caloporteur soit de l'air, soit de l'eau. Par rapport à l'eau, l'air présente les avantages suivants :

- Il ne présente pas de problèmes de gel pendant l'hiver ou d'ébullition pendant l'été
- L'air sec ne présente pas de problèmes de corrosion,
- Une fuite d'air est sans conséquence,
- Il n'est pas nécessaire d'utiliser un échangeur de chaleur dans le cas du chauffage de locaux,
- Le système à mettre en place est plus simple et plus fiable.

L'utilisation de l'air par rapport à l'eau entraîne les inconvénients suivants :

- L'air ne peut servir qu'au chauffage de locaux,
- Les conduites doivent avoir une grande section pour laisser passer un débit suffisant,
- Les transferts thermiques sont moins bons qu'avec l'eau.

Dans le cas de tuyauteries soudées sur la face arrière de la plaque absorbante, il faut prendre soin aux soudures afin de réduire le plus possible la résistance thermique de contact. [2]

✓ **Le vitrage :**

Le vitrage permet de protéger l'intérieur du capteur contre les effets de l'environnement et d'améliorer le rendement du système par effet de serre. Si l'on souhaite un vitrage efficace, il doit posséder les propriétés suivantes:

- réfléchir le rayonnement lumineux au minimum quelle que soit son inclinaison;

- absorber le rayonnement lumineux au minimum.
- avoir une bonne isolation thermique en gardant le rayonnement infrarouge au maximum.
- résister dans le temps aux effets de l'environnement (pluie, grêle, rayonnement solaire,...) et aux grandes variations de températures.

Les principaux vitrages utilisés pour les capteurs thermiques sont à base de verre non-ferrugineux ou en verre acrylique, et souvent dotés d'un revêtement anti- reflet. [39]

I.5- Technologie de l'énergie solaire :

- ✓ Pour l'énergie solaire thermique :

Le solaire thermique est une énergie renouvelable qui se présente comme une technologie qui repose sur le rayonnement du Soleil qu'elle exploite. Elle le transforme ensuite en chaleur (ou en eau chaude), dite énergie calorifique ou thermique, au moyen de capteurs solaires. Selon que le fluide qui transporte la chaleur soit de l'eau ou de l'air, les types de panneaux varient. Elle ne produit cependant pas d'électricité et se distingue de ce fait du solaire photovoltaïque, qui joue ce rôle de conversion.

Trois types de technologies permettent l'exploitation du solaire thermique. Les technologies solaires thermiques active comme passive se servent de la basse température. La première s'illustre par exemple par la disposition de capteurs solaires thermiques sur un toit, afin d'ensuite utiliser la chaleur pour produire de l'eau chaude ou chauffer (ou même rafraîchir) des locaux. La seconde ne nécessite pas l'emploi de capteurs solaires mais se sert de l'énergie passive du Soleil grâce à une architecture et des matériaux spécifiques. Le troisième type, la technologie solaire thermique à haute température, est dite concentrée ou thermodynamique. La chaleur fournie peut osciller entre 250 et 1000° C en concentrant le rayonnement solaire, et ainsi actionner des turbines à gaz ou à vapeur pour produire de l'électricité. [40]

- ✓ Pour d'une cellule solaire photovoltaïque :

Le Silicium est l'un des matériaux le plus courant sur terre, c'est le sable, mais un haut degré de pureté est requis pour en faire une cellule photovoltaïque et le procédé est coûteux. Selon les technologies employées, on retrouve le Silicium monocristallin avec un rendement de 16 à 18%, le Silicium Polycristallin de rendement de 13 à 15%, le silicium amorphe présente une

efficacité entre 5 et 10%. D'autres matériaux tels que l'Arséniure de Galium et le Tellurure de Cadmium qui sont en court de test dans les laboratoires est présentent un rendement de (38%). [24]

I.6- Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire :

Le solaire, une énergie renouvelable qui comporte des avantages : [41]

- La technologie est simple et disponible,
- l'énergie est renouvelable,
- gratuite et fonctionne même en cas d'ensoleillement moyen,
- l'impact sur l'environnement est nul et la chaleur peut se stocker temporairement.
- Toutefois, comme le souligne le site Connaissance des Énergies,
- le solaire requiert des capacités de chauffage d'appoint,
- la production de chaleur est soumise aux aléas, et les technologies thermiques à basse température ne produisent pas d'électricité. [42]

Mais aussi des inconvénients :

- La production d'énergie solaire n'est possible que lorsqu'il y a du soleil
- Il faut pouvoir stocker la chaleur dans des ballons ou des dalles chauffantes
- Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles et de l'ordre de 20 % (pour les meilleurs). L'énergie photovoltaïque convient donc mieux pour des projets à faible besoins, comme une maison unifamiliale, par exemple. [41]
- Le cout d'investissement d'une installation solaire thermique est relativement élevé
- L'énergie solaire est une énergie intermittente. Il faut donc un système de chauffage d'appoint.

I.7- Energie solaire dans le monde :

L'énergie solaire photovoltaïque s'est d'abord développée pour satisfaire des besoins Électriques en sites isolés, tels que les régions de montagnes, les îles et les zones rurales des Pays en développement, particulièrement en Afrique et en Asie. Depuis le début des années2000, le développement de l'énergie solaire photovoltaïque a pris une toute autre dimension, à L'échelle mondiale, suite à la prise de conscience de l'enjeu environnemental lié au Réchauffement climatique et à la nécessité de développer des énergies renouvelables, non

Émettrices de CO₂. Les principaux pays producteurs de cellules solaires et de panneaux solaires sont la Chine, les Etats-Unis, le Japon et l'Allemagne. La puissance installée dans le monde est passée de quelques Mégawatts au début des années 2000 à 102 Gigawatts fin 2012 puis 227 Gigawatts fin 2015 et 300 Gigawatts fin 2016. Le rythme d'installation de puissance solaire photovoltaïque est actuellement de plus de 70 Gigawatts par an. C'est en Asie, notamment en Chine et en Inde, que plus de la moitié des installations solaires sont réalisées. Ci-dessous le détail des puissances solaires photovoltaïques installées dans le monde. [43]

Pays	2009 ⁸⁰	2010 ⁸⁰	2011 ⁷⁹	2012 ⁷⁹	2013 ^{m7,81}	2014 ^{p2}	2015 ^{s6}
 Chine	300	800	3 300	8 300	18 300	28 199	43 530
 Allemagne	9 959	17 370	24 807	32 411	35 715	38 200	39 700
 Japon	2 627	3 618	4 914	6 914	13 600	23 300	34 410
 États-Unis	1 616	2 534	4 431	7 777	12 000	18 280	25 620
 Italie	1 181	3 502	12 923	16 361	17 928	18 460	18 920
 Royaume-Uni	46	91	904	1 829	3 375	5 104	8 780
 France	335	1 054	2 924	4 003	4 673	5 660	6 580
 Espagne	3 523	3 915	4 889	5 166	5 340	5 358	5 440
 Australie	188	571	1 412	2 412	3 300	4 136	5 070
 Inde	nd	nd	nd	nd	2 208	2 936	5 050
 Corée du Sud	nd	nd	nd	nd	1 475	2 384	3 430
 Belgique	386 ⁸²	1 055	2 051	2 650	2 983	3 074	3 250
 Grèce	nd	198	624	1 536	2 579	2 595	2 610
 Canada	nd	nd	nd	nd	nd	1 900	2 500
 République tchèque	466 ⁸³	1 946	1 959	2 072	2 175	2 134	2 080
Total mondial	23 605	40 670	71 061	102 156	138 856	177 000^{p3}	227 100
dont total Europe	16 850	30 472	52 884	70 043	79 964	86 674	93 965
% Europe	71,4 %	74,9 %	74,4 %	68,6 %	57,6 %	49,0 %	34 %

Tableau I-2 : puissance PV installée au 31/12 M WC dans 15 pays les plus équipés en PV

I.8- Energie solaire en l'Algérie :

L'Algérie préserve les réserves énergétiques actuelles (pétrole et gaz), le pays a opté pour le développement et l'exploitation de l'énergie solaire. Afin de concrétiser son programme d'exploitation de l'énergie solaire, l'Algérie a chargé la Sonalgaz de construire la centrale électrique mixte de Hassi R'Mel, mise en service en 2011 à Tilghemt dans la wilaya de laghouat dans le sud du pays, d'une capacité de 150 mégawatts (30 MW solaire thermodynamique + 120 MW gaz). [25]

C'est la société New Energy Algeria (NEA), qui est chargée du secteur des énergies nouvelles et renouvelables. [44]

La première usine privée algérienne de fabrication de panneaux solaires est opérationnelle à partir du mois de mars 2012 avec un taux d'intégration nationale de 90 %. [45].

I.9- 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 déterminer les types d'énergie solaire qui fonctionnent selon un principe simple et efficace. Puis on a présente la technologie de l'énergie solaire et leur avantage et inconvénient.



II- Introduction :

Vu la nécessité de l'homme pour l'énergie solaire, de jour en jour l'homme à chercher de Développée des techniques pour l'exploitation de cette énergie.

Dans ce chapitre nous avons présenté classification des capteurs solaires et pour différent cas des températures, ainsi les chauffe-eau solaire qui sont servi pour la production de l'eau chaude et donner généralité sur les chauffe-eau solaire.

II.1- les capteurs solaires :

II.1.1- classification des capteurs solaires :

On peut classer les capteurs selon. [46]

II.1.1.a- Le fluide de travail utilisé :

On peut trouver :

- **Des capteurs solaires à air :**

Ce type de capteurs s'adapte aux appareils de chauffage à air pour le séchage des produits agroalimentaires, et le chauffage des locaux. [47-48]

- **Des capteurs solaires à eau :**

Dans les capteurs thermiques « à eau », l'eau ou plus souvent un liquide caloporteur à circuit fermé, circule dans des tubes munis d'ailettes. Pour obtenir un meilleur rendement, l'ensemble est placé dans une boîte vitrée isolante afin d'obtenir un effet de serre. Avec un ensoleillement important, et si les besoins en eau chaude sont modérés, un simple réseau de tubes à ailettes peut suffire. Les ailettes, qui forment ce qu'on appelle l'absorbeur, sont chauffées par le rayonnement solaire et transmettent leur chaleur à l'eau qui circule dans les tubes. Les capteurs solaires à eau sont utilisés pour le chauffage et/ou pour produire de l'eau chaude sanitaire. [49]

Les capteurs à eau peuvent être classés en capteurs à :

- Faible pression de circulation, tel est le cas du chauffage des piscines.
- Haute pression de circulation où le circuit d'eau est généralement constitué de tubes de Cuivre et de plaques métalliques qui augmentent la surface d'absorption.

- L'eau et l'air sont les principaux fluides de travail utilisés pour les capteurs solaires plans, mais il en existe d'autres, tels que les hydrocarbures qui sont utilisés pour la réfrigération et la génération d'électricité.

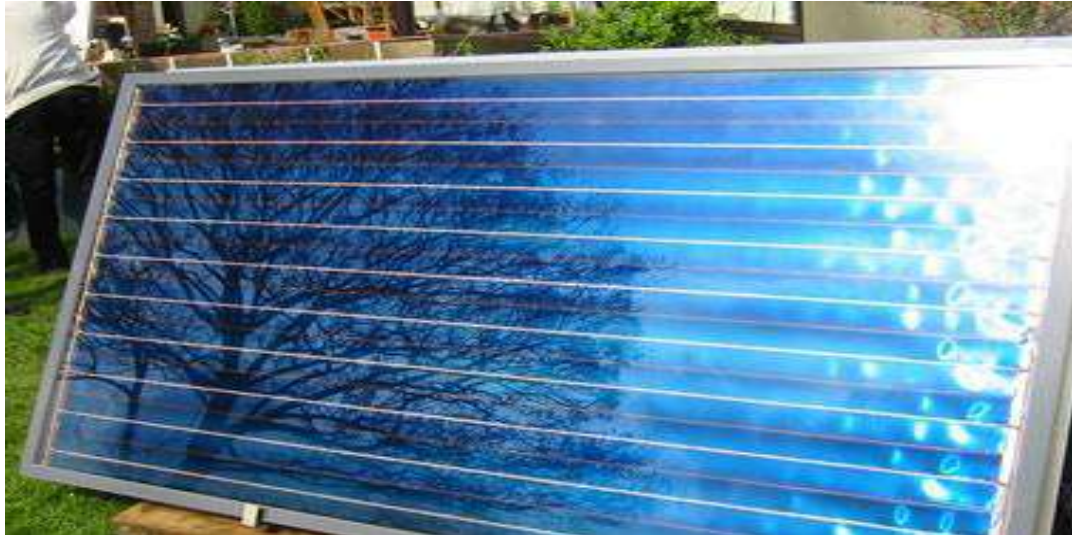


Figure II .1 : capteurs solaire à eau

II.1.1.b- la Température :

On peut classer le capteur solaire selon la température ; les capteurs à faible température, moyen Température, haut température.

Suivant ce classement il existe essentiellement trois types de capteurs solaires thermiques.

- Capteur plan.
- Capteur à tube sous vide.
- Capteur à concentration. [47.48]

A- Les capteurs plans non vitré :

Ce sont les capteurs les plus simples du marché. Ce capteur est constitué d'un réseau de tuyaux opaques de couleur foncée. Généralement ces tuyaux sont en plastique souple.

Ils ne possèdent ni isolation ni couvercle transparent. Le rendement de ce système est bon pour produire des températures proches de la température du milieu ambiant. Ce système est particulièrement adapté pour élever la température de l'eau d'une piscine. Dès que la température du fluide caloporteur augmente ou que l'ensoleillement diminue, le rendement chute. Ces capteurs ne permettent pas de produire de l'eau chaude sanitaire sauf dans les pays chauds comme la Turquie, la Grèce, la Tunisie, etc..



Figure II .2 : les capteurs non vitrés

B- Les capteurs plans vitrés :

Ce sont les capteurs les plus répandus en Europe. Ils se composent d'un caisson isolant recouvert sur la face avant par du verre de sécurité. A l'intérieur, un absorbeur (une feuille métallique noire) absorbe la chaleur du soleil, qui est emprisonnée dans le caisson. Le verre empêche – tout comme dans une serre - cette chaleur de partir. Cette chaleur est ensuite transmise à de l'air, de l'eau, ou un autre fluide caloporteur qui ne gèle pas en hiver. Le capteur plan est isolé, sur les côtés et sur sa face inférieure, de manière à éviter au maximum les déperditions de chaleur. Le coût des capteurs plans est plus faible que celui des capteurs à tubes sous-vides et leur durée de vie est plus élevée: au moins 25 ans. Par bon ensoleillement, on peut atteindre une température de chauffe de 50°C. Le rendement chute fortement lorsque

L'ensoleillement diminue. Le rendement des capteurs plans est donc moindre en hiver, l'ensoleillement est le plus faible. C'est là que les capteurs sous vide font la différence.



Figure II.3 : capteur solaire plan

C- Les capteurs à tube sous vide:

Ce sont les capteurs les plus répandus en Chine (Elle est l'inventrice de cette technologie. La domination d'une technologie est souvent régie par les enjeux commerciaux). Un capteur solaire sous vide est constitué d'une série de tubes de verre transparent dans lesquels passe un tube qui absorbe et collecte la chaleur. La paroi de ces tubes est double, comme celle d'un thermos, et on y a fait le vide qui est un des meilleurs isolants thermiques existants. Les pertes y seront donc moins importantes que le capteur plan. [50]



Figure II.4 : les différents concepts de capteurs à tubes sous vide.

D- Les capteurs à concentration :

Sont souvent cylindro-paraboliques. Ils sont constitués de miroirs cylindro-paraboliques qui concentrent le rayonnement sur un tube placé au foyer, qui est recouvert d'un matériau absorbant et dans lequel circule le fluide caloporteur. Ils sont utilisés le plus souvent dans les pays à fort taux d'ensoleillement et pour des applications de grande taille et nécessitant une forte température. [51]

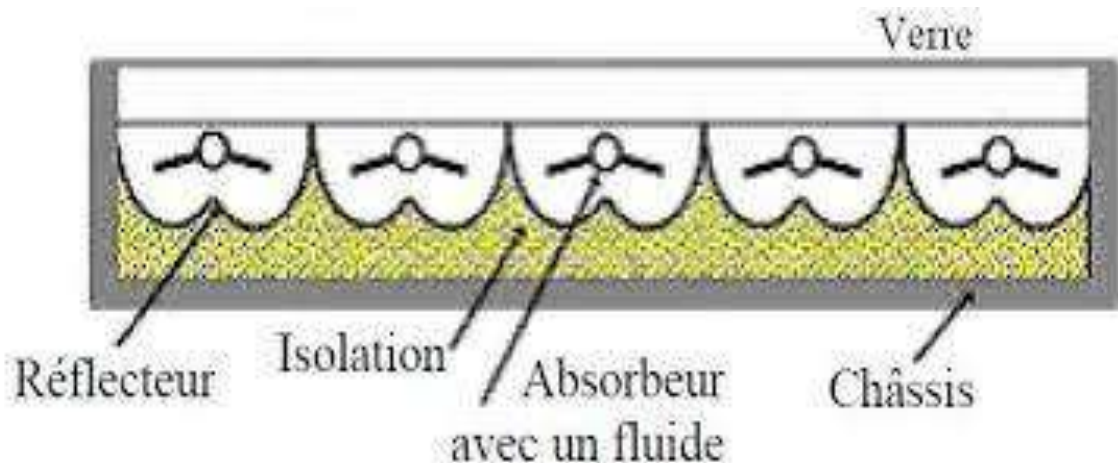


Figure II.5 : Les capteurs à concentration

II.1.1.c- L'orientation des capteurs :

Les capteurs solaires peuvent être :

• Des capteurs fixes

Ces capteurs ne bougent pas dans la journée, ce qui est le cas des chauffe-eaux solaires

Domestiques, et présentent les propriétés suivantes :

- La simplicité et la fiabilité.
- Un faible entretien.
- Ils peuvent faire partie intégrante d'une construction (toit ou mur).

• Des capteurs à poursuite

Le capteur solaire peut être muni d'un dispositif de guidage automatique dans la direction de Provenance du flux lumineux, ce qui va améliorer le rendement du capteur.

II.1.1.d- Les types des composants

Les composants des collecteurs diffèrent d'un capteur à un autre, on peut classer les capteurs Suivants :

• La couverture

Elle peut exister ou pas, on peut alors trouver :

❖ **Les capteurs solaires plans non vitrés:**

Ils sont constitués d'un réseau de tubes peints en noir

En plastique résistant aux rayons U.V, sans couverture transparente. Ils sont essentiellement utilisés Pour le chauffage de l'eau des piscines extérieures en été et assurent des températures relativement Basses de l'ordre de 30 à 35°C.

❖ **Les capteurs solaires plans vitrés :**

Le vitrage crée un effet de serre qui permet d'atteindre des températures de 70°C à 90°C et augmente ainsi le rendement. Le capteur solaire peut avoir une ou plusieurs couverts

• **L'absorbeur**

L'absorbeur peut être classé suivant sa forme. On trouve :

- ❖ Les capteurs plans.
- ❖ Les capteurs à cavité sures transparentes. [47.48]

II.2.1- Capteurs à basse température :

Les installations thermiques solaires à basse température sont considérées comme des installations à énergies solaire produisant de la chaleur utile à des températures inférieures à 65°C grâce à l'énergie solaire.la circulation de l'eau à l'intérieur des circuits peut être obtenue par thermosiphon, en tirant profit de la différence de densité de l'eau à différentes températures ou au moyen d'une pompe de circulation. Bien qu'avec une pompe de circulation, un apport externe d'énergie électrique soit nécessaire.

II.2.1.1- Applications de l'énergie solaire thermique :

L'énergie solaire thermique à basse température est une forme d'énergie renouvelable qui peut être utiliser dans de nombreux domaines a fin de réduire la dépendance à d'autres sources d'énergie non renouvelables ,telles que la combustion du gaz naturel ou du charbon .les système solaire thermique à basse température sont utiles dans des applications telles que le chauffage de piscines ,pour un usage domestique(eau chaude et chauffage),pour des utilisations industrielles nécessitant de l'eau chaude, mais pas à une température supérieure à 65 °C . [52]

II.2.1.2- Production d'eau chaude sanitaire :

Les équipements doivent être dimensionnés au plus juste en fonction du projet et une étude de faisabilité doit être réalisée pour les bâtiments collectifs d'habitation (bâtiments mentionnés à l'article R. 111-22 du Code de la construction et de l'habitation). Les canalisations d'eau chaude sanitaire situées hors volume chauffé doivent être calorifugées (isolant standard d'épaisseur 19 mm). [53]

La température de réglage des systèmes de production d'eau chaude entre 55°C et 60°C afin de :

- Limiter les risques sanitaires liés à la prolifération éventuelle de bactéries et de microbes à l'intérieur de votre ballon d'eau chaude, ou de vos canalisations. En effet, en dessous de 50°C, il existe un risque de développement de la légionelle. Naturellement présente dans l'eau, elle se multiplie très bien dans une eau stagnante ou peu chaude et peut entraîner la légionellose. Régler le thermostat de votre chauffe-eau entre 55°C et 60°C est le meilleur moyen de l'éradiquer.
- Limiter la consommation énergétique et la consommation d'eau. A contrario, il n'est pas nécessaire de dépasser les 60°C. Chauffer de manière trop forte votre eau revient cher car cela est plus long. De plus, si l'eau est trop chaude, vous êtes obligé de la mélanger avec une grande quantité d'eau froide, ce qui augmente votre consommation d'eau.
- Limiter les risques de brûlures que pourrait causer une eau bien trop chaude à la sortie du robinet.
- Limiter l'entartrage de votre appareil ou de vos canalisations. Le tartre commence à se former à une température supérieure à 60°C et endommage votre installation. Si trop de tartre se forme, vous risquez de devoir faire appel à un professionnel qui devra procéder au nettoyage ou au remplacement des pièces endommagées si cela s'avère nécessaire. Outre le fait qu'il s'agisse d'une obligation légale, bien régler la température de son chauffe-eau est un moyen de réaliser des économies. Ainsi, avec un bon réglage, un ménage peut économiser 10 à 20% de l'énergie consommée par le chauffe-eau annuellement, soit un gain financier de 15 à 100 €. Ce chiffre varie selon

Différents critères, qu'il s'agisse du prix de l'énergie, du nombre d'occupants dans la maison, et de leur comportement au quotidien. [54]

II.2.1.3- Chauffage à basse température :

Un système de chauffage basse température, la température d'arrivée des eaux de chauffage central est d'entre 35 et 55°C. Ceci est considérablement plus bas que chez un chauffage central traditionnel (chauffage haute température) où la température d'arrivée est d'entre 75 et 85°C. Chez chauffage basse température, on a besoin de grands corps de chauffage afin de pouvoir réchauffer une habitation rentablement à un prix favorable. L'application de chauffage par le sol et par les parois est idéale pour ceci. A part de cela, des radiateurs ou des convecteurs basse température sont très aptes

✓ Avantages chauffage basse température :

- Chez le chauffage basse température, le rendement est grand. Il y a, notamment, moins de perte de chaleur qu'avec un système traditionnel et il coûte moins
- d'énergie afin de tenir le chauffage à une basse température. Le prix de votre consommation peut être 30% plus bas, de cette façon.
- Le chauffage basse température donne un climat de vie agréable. La température dans la maison est constante et la chaleur est divisée également. Dans le cas de chauffage par le sol ou par la paroi, il y a également moins de coins froids, ce qui est bel et bien le cas avec des systèmes traditionnels.
- Comme il n'y a pas de courants atmosphériques à cause de chaleur montante, il y a moins de la poussière flottante dans la maison, ce qui est très favorable pour des gens avec des allergies.
- Chauffage basse température est écologique. [55]



Figure II.6 : Radiateur chauffage central basse température Type 15 blanc, l. 100cm, 1700w.

II.2.1.4- Chauffage de l'eau de piscine :

Une autre application répandue de l'énergie thermique solaire à basse température est le chauffage de l'eau de piscine. L'utilisation de collecteurs peut permettre un soutien énergétique des piscines vers l'extérieur, allongeant la période de baignade, tandis que, dans les installations à usage hivernal, en période de faible rayonnement solaire, ils pourront fournir une petite partie du support l'installation conventionnelle. convient de garder à l'esprit que, dans certains pays, la législation en vigueur n'autorise pas la climatisation des piscines extérieures utilisant des sources d'énergie conventionnelle, qui sont généralement des sources d'énergie non renouvelables. Pour les applications de chauffage d'eau de piscine, des capteurs solaires sans verre peuvent être utilisés. Ces panneaux solaires sont simplement formés par un grand nombre de minuscules tubes en métal ou en plastique

Disposés en bobines à travers lesquelles l'eau circule. ces capteurs n'ont pas besoin de couvercle en verre ou de boîte. Pour cette raison, l'augmentation de la température est basse, autour de 30 degrés celsius. les pertes de chaleur sont importantes, ce qui limite son application à d'autres types d'installations. les tuyaux flexibles tolèrent le passage d'eau agressive, telle que l'eau de piscine chlorée, mais ils ne peuvent résister aux contraintes mécaniques qui se produisent lorsque l'eau et les rayures superficielles gèlent. ils sont plus économiques que les capteurs solaires plats. [52]

II.2.1.5- Climatisation par machines à absorption :

La « production de froid » est basée sur l'évaporation du réfrigérant l'eau dans l'évaporateur à très basse pression. La vapeur d'eau est alors « aspirée » dans l'absorbeur, contribuant à la dilution de la solution H₂O/LiBr. L'efficacité du processus d'absorption nécessite un refroidissement de la solution. Cette dernière est pompée en continu dans le générateur où elle est chauffée (chaleur motrice). La vapeur d'eau ainsi générée est envoyée dans le condenseur, où elle se condense. L'eau liquide, après passage dans une vanne de détente, retourne ensuite à l'évaporateur.

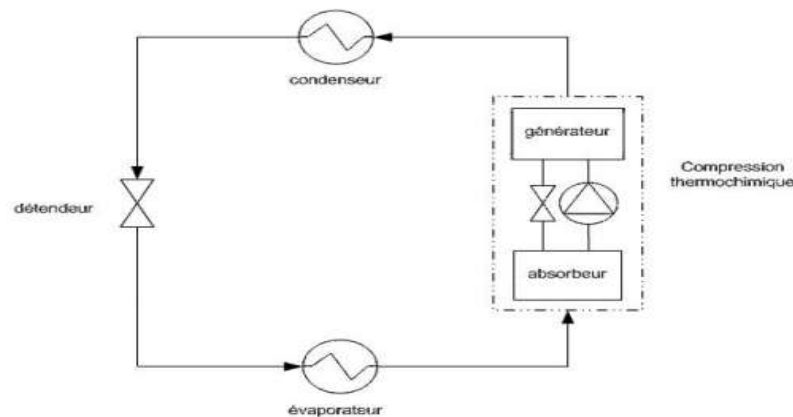


Figure II.7: Schéma de principe d'une machine frigorifique à absorption

Les puissances frigorifiques des machines à absorption centaines de kW froid, e la chaleur résiduelle ou une cogénération, l généralement au dessus de 80°C pour des machines à simple Effet, avec un COP e 0,6 et 0,8. Les machines double effet, utilisant la chaleur motrice sur 2 niveaux, nécessitent des températures supérieures à 140°C atteindre 1,2. [56]

Système de collecte de rayonnement solaire :

Le système de collecte du rayonnement solaire est constitué de capteurs solaires connectés les uns aux autre .sa mission est de capter l'énergie solaire pour la transformé en énergie thermique, en augmentant la température du fluide circulant dans l'installation.

Le type de capteur thermique le plus répandu est le capteur solaire plat qui permet une augmentation de la température de 60°C à un cout réduit .ces collecteurs convienne à la

Production d'eau chaude pour diverses applications : eau chaude domestique, chauffage par le sol, etc.

- Les capteurs solaires thermiques sont composés des éléments suivants :

Couverture : la couverture doit être en un matériau transparent, généralement en verre, mais certains plastiques peuvent également être utilisés avec l'avantage d'être moins chers et plus faciles à gérer. La fonction de la couverture est de minimiser les pertes thermodynamiques de chaleur par transmission par convection et rayonnement et doit donc transmettre le rayonnement solaire aussi élevée que possible

- Canal d'air : le canal d'air est un espace qui sépare le couvercle de la plaque absorbante et peut être vide ou non. Pour calculer son épaisseur, il est nécessaire d'équilibrer les pertes par convection et les températures élevées qui peuvent être produites si elles sont trop étroites.
- Plaque absorbante : la plaque absorbante est l'élément qui absorbe l'énergie solaire et transmet la chaleur au liquide qui circule dans les tuyaux. La caractéristique principale de la plaque absorbante est qu'elle doit avoir une absorption élevée de rayonnement solaire et une émission thermique réduite. Pour répondre à cette exigence, les matériaux combinés sont utilisés pour obtenir le meilleur rapport absorption /émission.
- Tuyaux ou conduits : Les tubes touchent (parfois soudés) la plaque d'absorbant afin de maximiser l'échange d'énergie thermique par conduction thermique. Le liquide chauffé circulera dans les tubes et transportera la chaleur dans le réservoir d'accumulation.
- Couche isolante : La couche isolante a pour but de recouvrir le système afin d'éviter les pertes thermiques. Pour que l'isolation soit optimale, le matériau isolant doit avoir une faible conductivité thermique. [52]

II.2.2- Capteurs à moyenne température :

L'énergie thermique solaire à basse température est utilisée dans les applications qui nécessitent des températures comprises entre 100°C et 250°C. À partir de 80°C, les capteurs plats n'ont pratiquement plus aucune performance et il est nécessaire de recourir à d'autres systèmes de capteur. Les systèmes d'énergie thermique à basse température sont utilisés

Principalement pour des applications qui requièrent de l'énergie thermique, c'est-à-dire de la chaleur entre 125°C et 400°C. Pour atteindre des températures plus élevées, il est nécessaire de concentrer le rayonnement solaire pour ce type d'énergie solaire thermique, deux types de capteurs solaires sont utilisés :

- ❖ Collecteurs à vide solaire
- ❖ Collecteurs solaire de concentration [57]

II.2.2.1- Collecteurs à vide solaires :

Selon Fortuin et Stryi-Hipp (2012), le rôle d'un collecteur solaire thermique est de convertir le rayonnement solaire en chaleur à une température suffisamment élevée pour être utile. En effet, puisque la chaleur s'écoule toujours dans la direction opposée au gradient thermique (du chaud vers le froid), le fluide caloporteur produit par le collecteur doit être plus chaud que la température nécessaire au procédé nécessitant de la chaleur. Par exemple, si on veut chauffer de l'eau domestique typiquement stockée dans les maisons à une température de 60 °C, le collecteur solaire devra chauffer un fluide caloporteur à une température supérieure à 60 °C.

Un collecteur à tubes sous vide, les tubes sont composés d'une double éprouvette de verre et l'absorbeur est collé sur la paroi externe de l'éprouvette interne. Un espace où règne un vide presque absolu sert alors d'isolant limitant ainsi les pertes par convection.

De même, l'éprouvette externe sert de couverture vitrée permettant le passage du rayonnement solaire.

La Figure II.8 représente un tube sous vide et identifie la position de l'absorbeur et de l'espace de vide.



Figure II.8 : Tube sous vide en forme d'éprouvette (à gauche) et vue en coupe de l'extrémité d'un tube (à droite)

L'absorbeur (la face externe de l'éprouvette interne du tube) chauffe et transmet sa chaleur par conduction à l'éprouvette interne qui la transmet presque intégralement à des

Canalisations, un tube caloduc (habituellement par l'intermédiaire d'une ailette) ou directement au fluide caloporteur qui circule à l'intérieur. De même, dans ce type de collecteur, un réflecteur est généralement placé à l'arrière des tubes afin de rediriger vers les tubes le rayonnement solaire qui passe entre ces derniers. Dernièrement, de nouveaux tubes sous vide ouverts aux deux extrémités ont été mis en marché. Ces nouveaux tubes ne sont plus formés d'une double éprouvette (une seule extrémité ouverte) mais plutôt d'un double cylindre en verre (le tube est ouvert aux deux extrémités). Peu de données sont toutefois disponibles sur ces tubes concernant leur résistance à la surchauffe ou leur durée de vie. Des problèmes de contraintes thermiques sont toutefois anticipés dû à la dilatation du tube interne sur lequel est collé l'absorbeur. Ce dernier atteint des températures très élevées comparées à celles qu'atteint le tube externe qui reste invariablement à une température voisine de la température ambiante. [58]

II.2.2.2-Collecteurs solaires de concentration :

Ce type de capteur solaire réfléchit et focalise le rayonnement solaire reçu directement sur l'absorbeur de manière à accroître l'intensité des rayons solaires. Par conséquent, l'usage de ce type de capteur permet d'obtenir des températures supérieures à celles que peut réaliser le capteur plan.

On distingue deux types de concentration :

- 1) Les systèmes qui peuvent concentrer le rayonnement autour d'une ligne appelés cylindriques réfléchissantes réglées.
- 2) Ces systèmes présentent une symétrie de révolution autour d'un axe.

Les systèmes à concentration présentent un certain nombre d'inconvénients :

- Les pertes optiques peuvent être importantes. Elles sont dues aux phénomènes de Le rayonnement diffus est très mal utilisé dans les systèmes à forte concentration, seul le rayonnement direct est concentré.
 - Les systèmes à forte concentration nécessitent des montages optiques précis et par conséquent relativement chers.
 - Il faut aussi maintenir les qualités optiques du système (contre l'oxydation,).
 - L'absorbeur est soumis à de grandes variations de température lors des passages nuageux.
 - Les systèmes à forte concentration ont un champ étroit. Il est donc nécessaire de pointer pour capter le rayonnement direct et ceci demande des mécanismes d'orientation.
 - Dans la plupart des cas, le flux n'est pas distribué de façon uniforme sur l'absorbeur.
- [59]

II.2.3-Capteurs à haute température :

L'énergie solaire thermique est un moyen de capter la chaleur de l'énergie solaire pour en obtenir. Parmi les différentes techniques permettant de convertir le rayonnement solaire en énergie thermique, nous expliquons dans section

L'énergie solaire thermique à haute température nous nous référons à l'énergie thermique solaire haute température pour le système solaire qui utilisant des capteurs solaire fonctionnant à des températures supérieures à 500 Celsius degrés. Dans ce type

D'installation, une fois le rayonnement solaire transformé en énergie thermique, l'objectif suivant est de transformer cette chaleur en énergie électrique.

Différentes technologies permettent de tirer parti de l'énergie solaire thermique à haute température. Cependant, toutes les solutions reposent sur le même principe :

*D'abord, concentrez le rayonnement solaire en un point

*Augmenter la température d'un fluide pour augmenter ainsi son énergie interne. De cette façon, l'énergie peut être transportée.

*Générer de la vapeur pour pouvoir entraîner, grâce à ses propriétés thermodynamiques, les turbines à vapeur et convertir l'énergie en énergie mécanique.

*Faites fonctionner les générateurs électriques grâce à l'énergie cinétique fournie par la turbine à vapeur.

Les technologies utilisées dans l'énergie solaire thermique à haute température sont :

- ✓ Les capteurs de creux paraboliques
- ✓ Les tours centrales
- ✓ Les disques paraboliques
- ✓ Les récepteurs linéaires de Fresnel. [60]

Capteur solaire parabolique :

Les capteurs paraboliques Figure II.09 sont basés sur la propriété optique bien connue du paraboloïde. En effet, tout rayon incident orthogonal au plan directeur se réfléchit sur le paraboloïde en direction du point focal, qui peut ainsi collecter tout le flux de chaleur récolté par le paraboloïde (à nouveau, au rendement de réflexion près). Le facteur de concentration est donc bien supérieur à celui d'un CCP (il peut atteindre 230). Ici, on place un moteur STIRLING au point focal, et non un absorbeur. [61]

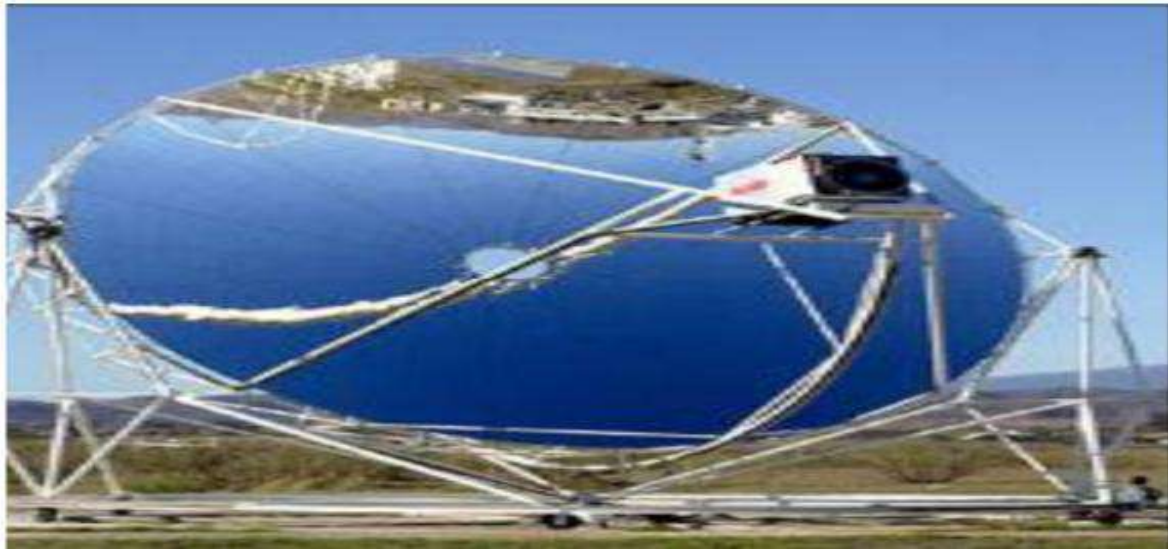


Figure II.09 : Capteur parabolique

✓ **Les Centrales à tour :**

Cette centrale utilise des héliostats qui sont constitués de miroirs plans. Les héliostats concentrent les rayons solaires vers un récepteur ponctuel situé au sommet d'une tour. Le suivi par les héliostats se fait suivant deux axes : l'axe EST-OUEST et l'axe NORD-SUD. Les fluides caloporteurs couramment utilisés sont : l'eau, et le sel fondu. Le facteur de concentration varie de 300 à 1000, ce qui entraîne une variation de la température de 550°C à 1000° C. [62]



Figure II.10 : Les tours solaires

✓ **Les disques paraboliques :**

Les disques paraboliques sont des systèmes qui concentrent l'énergie solaire en un point situé à proximité du récepteur solaire et d'un moteur ou d'une microturbine couplés à un alternateur. Le fluide situé dans le récepteur est chauffé à des températures supérieures à 750°C, obtenant ainsi une certaine énergie calorifique. L'énergie thermique obtenue est utilisée par le moteur Stirling ou la microturbine pour produire de l'électricité. [60]

Le moteur Stirling est constitué d'un cylindre contenant une masse constante de gaz (air, hélium, hydrogène). L'une des extrémités de ce cylindre est chauffée par une source chaude, tandis que l'autre est refroidie par un puits froid qui est généralement le milieu ambiant ou un circuit d'eau de refroidissement, à l'intérieur du cylindre glisse un déplaceur au dessous duquel se trouve un piston glissant le long de la tige actionnant le déplaceur et coulissant sur la paroi intérieure du cylindre. Le déplaceur est un élément qui ne modifie ni la pression, ni le volume du gaz, mais l'oblige à migrer soit vers la source chaude soit vers la source froide.

Un régénérateur est très souvent utilisé dans les moteurs Stirling : c'est une chicane, un tampon de paille de fer, ou autre milieu poreux, devant posséder une mauvaise conductivité

Ou au thermique dans la direction axiale et jouer le rôle d'un réservoir thermique temporaire (Lemrani (1995)). [63]

✓ Les récepteurs linéaires de Fresnel :

Nous allons axer notre étude sur les récepteurs linéaires de type FRESNEL. Un récepteur linéaire est composé d'une partie absorbante, c'est le cœur des échanges thermiques Du récepteur et de différents dispositifs destinés à limiter les pertes thermiques comme l'illustre la Figure ci-dessous II.11. [64]

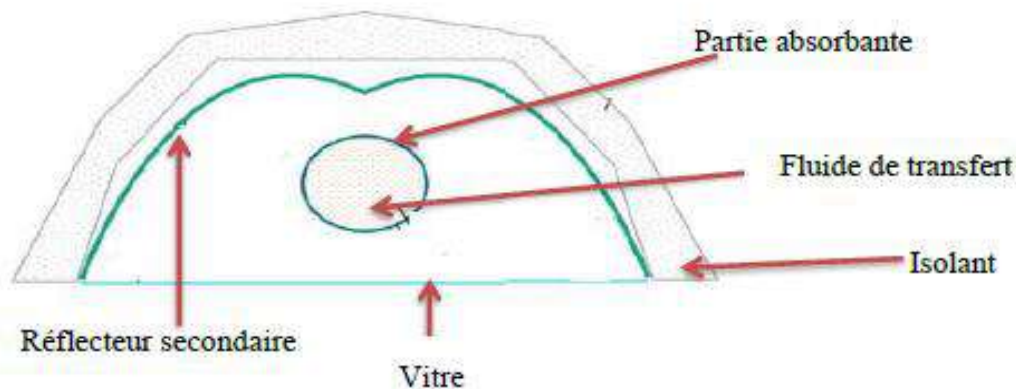


Figure II.11: Récepteur monotube sous vide

1-La surface absorbante

La surface absorbante est l'élément fondamental du récepteur qui est soumis à une température élevée. Le fluide de travail circule à travers cette surface pour absorber la puissance thermique. [62]

Le matériau constitutif doit avoir un coefficient d'absorption élevé et D'émission faible afin De limiter les pertes par rayonnement. On utilise donc la peinture sélective pour améliorer ses propriétés optiques. [65]

2-Le réflecteur secondaire

Le réflecteur secondaire est placé au-dessus de la partie absorbante afin de réduire les pertes optiques. Il réfléchit sur l'absorbeur les rayons ayant raté l'absorbeur. Le réflecteur secondaire Augmente le facteur de concentration. Et permet aussi de mieux répartir la puissance incidente de manière homogène sur les tubes. Il s'agit d'un organe facultatif.

3-La plaque de verre

La plaque de verre est utilisée pour limiter les pertes radiatives. Elle est définie par son épaisseur et sa forme plane pour fermer la cavité du récepteur secondaire. Elle laisse passer le Rayonnement solaire mais bloque les rayonnements infrarouges et réduit les pertes thermiques. Pour accroître les échanges thermiques à ce niveau il convient juste à dépoussiérer la vitre. [62]

II.2.4-Capteurs à très température :

- **Surchauffe du panneau solaire thermique :**

À quelle température les capteurs solaires surchauffent-ils ? On sait que les panneaux thermiques classiques montent très haut en température (jusqu'à 150-200 °C).

Quand la maison est vide, il n'y a pas de tirage d'eau chaude sanitaire, pour les douches par exemple. Mécaniquement, les panneaux thermiques ne sont donc pas refroidis. De ce fait, ils sont exposés à des problèmes de surchauffe sur certaines installations ce qui entraîne par exemple :

Des contraintes mécaniques importantes sur la plomberie et les joints Un encrassement du circuit

Concrètement, le fluide caloporteur qui se trouve à l'intérieur du panneau peut entrer en ébullition et se vaporiser. Cela crée une dilatation, donc une surpression qui est absorbée par le vase d'expansion. Si ce vase est mal dimensionné, l'installation va tomber en panne, car la surpression engendrée par l'entrée en ébullition du fluide caloporteur le transforme en gaz. Or le gaz se dilate beaucoup plus facilement.

L'intervention d'un installateur de panneaux solaires sera alors requise pour vidanger, recycler et remplacer le fluide glycolé. Au-delà de la panne du système, la surchauffe risque de dégrader les éléments. [66]

II.3- définition chauffe eau solaire :

Un chauffe-eau solaire est un dispositif de captation de l'énergie solaire destiné à fournir Partiellement ou totalement de l'Eau Chaude Sanitaire (ECS).

Ce type de chauffage permet habituellement de compléter les types de chauffage de l'eau exploitant d'autres sources énergétiques (électricité, énergies fossiles, biomasse, ...) dans

Certaines conditions il permet de les remplacer totalement. L'énergie solaire étant parfaitement renouvelable, ce remplacement permet de limiter efficacement les émissions de gaz à effet de serre ou la production de déchets nucléaires. [67]

Ce dernier est un système équipé d'un ou de plusieurs panneau(x) solaire(s) produisant de l'eau chaude pour les besoins en eau chaude sanitaire. On utilise la dénomination de CESI (Chauffe Eau Solaire Individuel) qui est équipé simplement de panneaux solaires et d'un réseau de circulation avec pompe faisant circuler l'eau chaude dans un ballon solaire. Un appoint d'énergie est nécessaire pour compenser les besoins hors couverture solaire. Cet appoint peut être apporté par une simple résistance électrique, ou par une chaudière ou une pompe à chaleur. [68]

Un chauffe-eau solaire individuel (CESI) permet de capter l'énergie solaire pour fournir de l'eau chaude et cela pour divers usages : sanitaire, lave-linge, piscine...Il se compose principalement de capteurs solaires thermiques et d'un ballon de stockage d'eau chaude.

II.4- Type de la chauffe eau solaire :

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 CESI.

A. CEA à thermosiphon :

Sous l'effet d'un rayonnement solaire, l'eau contenue dans le capteur s'échauffe et 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.

Les avantages d'un CES à thermosiphon sont :

- 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 les CESI thermosiphon Monobloc et les CESI thermosiphon à éléments séparés, figure II.12

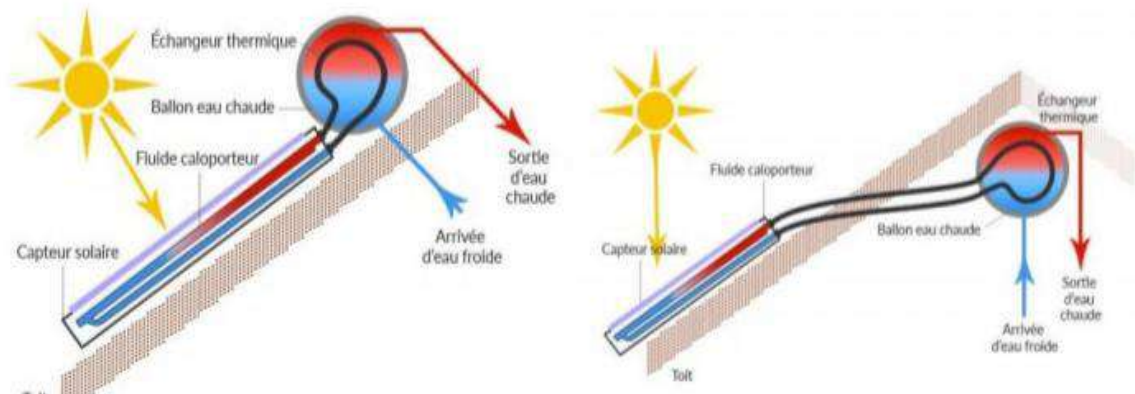


Figure II.12 (a) : CESI thermosiphon Monobloc Figure II.12 (b) : CESI thermosiphon à éléments séparés

B. CESI 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. Plusieurs types de CESI à circulation forcée sont utilisés. [69]

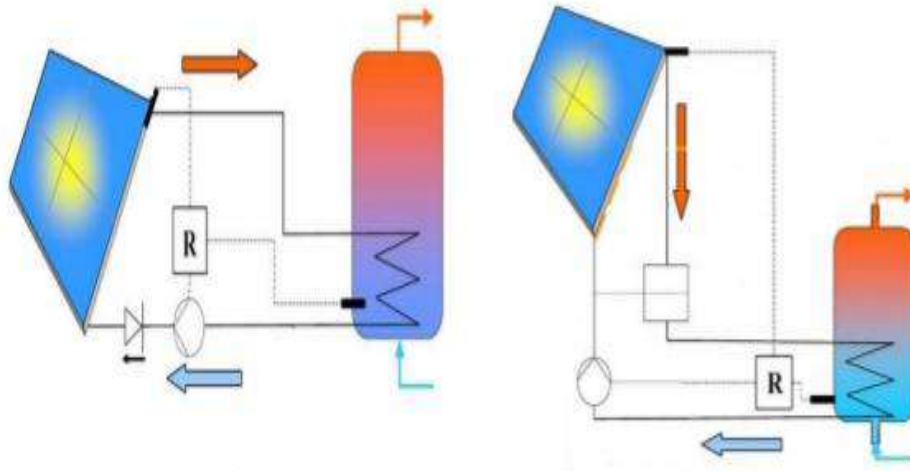


Figure II.13(a) : CESI à circulation forcée Figure II.13 (b) : CESI à circulation forcée sous pression auto-vidangeable

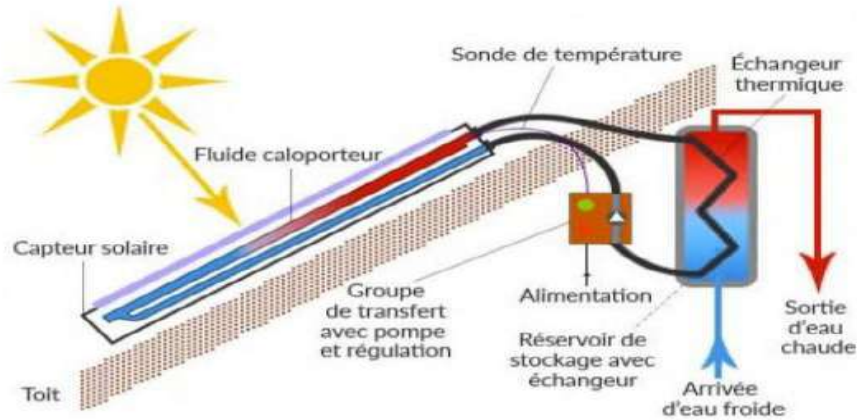


Figure II.14 : CES à circulation forcée

C. CES 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. [70]

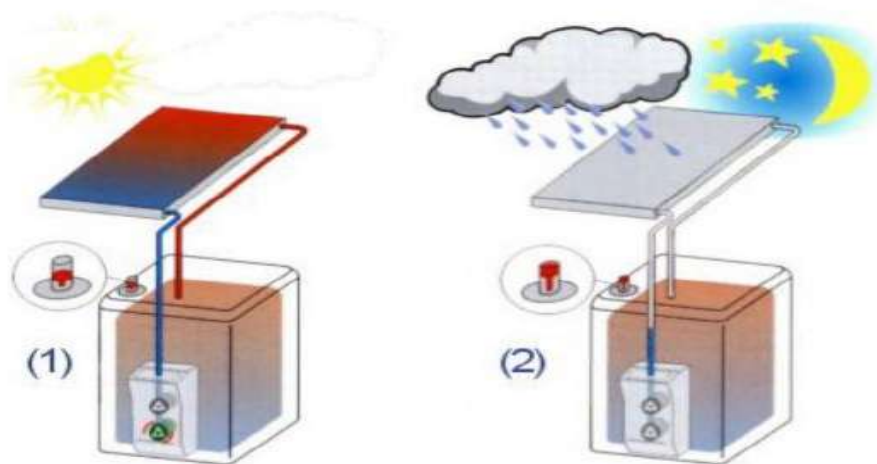


Figure II.15 : CES à auto vidange

II.5- Les composants d'une chauffe eau solaire :

Un chauffe-eau solaire comporte deux éléments principaux. En premier lieu, on trouve les panneaux solaires ou capteurs solaires, qui vont alimenter l'installation en énergie. En second lieu, il y a bien sûr le ballon de stockage de l'eau. [71]

Auquel sont rajoutés d'autres composants à savoir, une tuyauterie, un groupe de sécurité, l'échangeur, fluide caloporteur ... etc.

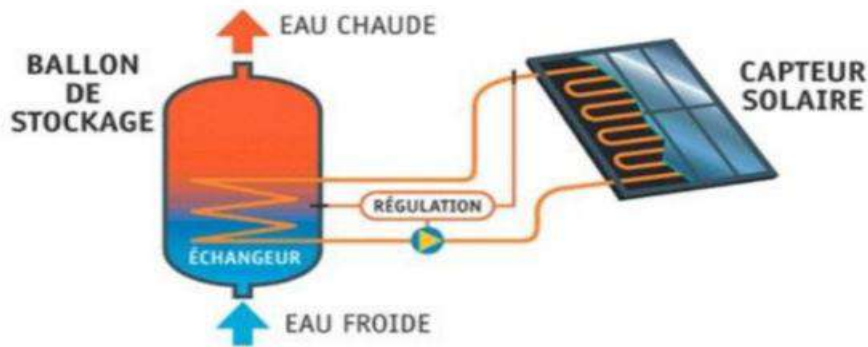


Figure II.16: les composants d'un chauffe-eau solaire

A- Capteurs solaires :

Un capteur solaire (ou panneau solaire) est un élément d'une installation solaire destiné à recueillir l'énergie solaire pour le convertir en énergie thermique et le transférer à un fluide caloporteur (air, eau) ou en énergie électrique. [72]

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. [73]

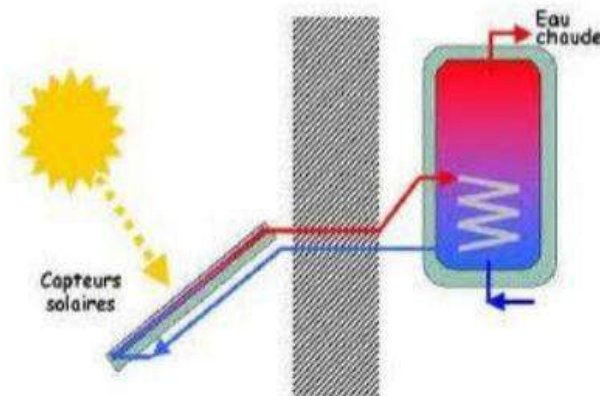


Figure II.17 : capteurs solaires thermiques

B- Le ballon de stockage :

C'est un réservoir de stockage d'énergie sous forme d'eau chaude ou d'eau glacée dans le cas d'application de chauffage ou de climatisation. [74]

Les ballons de stockage sont des ballons type « tampon ECS » dépourvus d'échangeurs de chaleur incorpore. En effet, pour des raisons de coût et de performances, des échangeurs à plaques sont préconisés pour transférer l'énergie à l'eau chaude sanitaire. [73]

Il permet de stocker l'eau chaude pour la restituer au moment des besoins d'utilisation, 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.

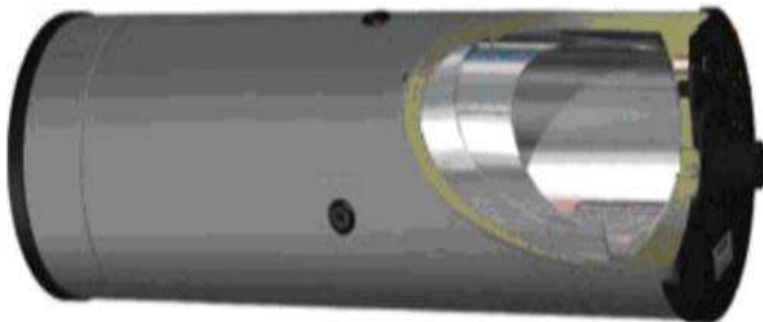


Figure II.18: ballon de stockage d'un CES

C- 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 serpent.



Figure II.19 : échangeur sous forme d'un serpentin

D- Tuyauterie :

Conduire un fluide (gaz ou liquide) d'un appareil (ex: échangeur de température) à un autre, ou d'un appareil vers un stockage (réservoir ou ballon); ou encore d'un réservoir à un appareil au cours d'opérations de fabrication, de transformation ou de stockage d'un produit. [76]

Le circuit de tuyauterie doit être le plus simple possible c'est-à-dire court et éviter les changements de diamètre. [75]

On distingue généralement 2 types de tuyauteries :

- ✓ LES TUYAUTERIES AERIENNES
- ✓ LES TUYAUTERIES ENTERREES. [76]

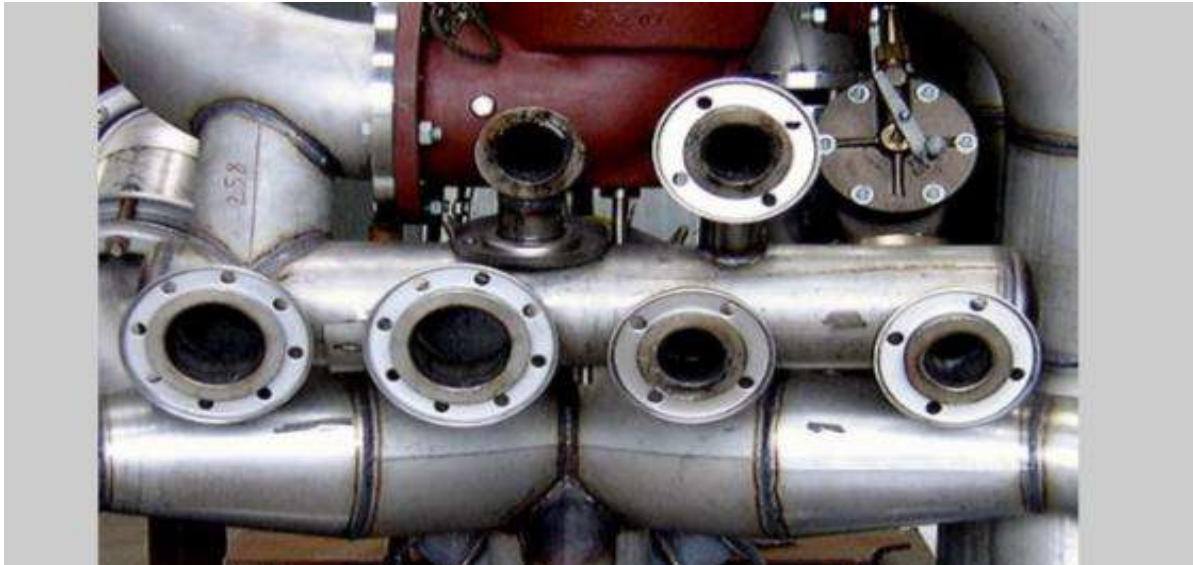


Figure II.20 : exemple de tuyauterie industrielle

E- Groupe de sécurité :

Cet appareil regroupe 4 fonctions :

- Protéger le ballon contre les excès de pression.
- 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. [70]

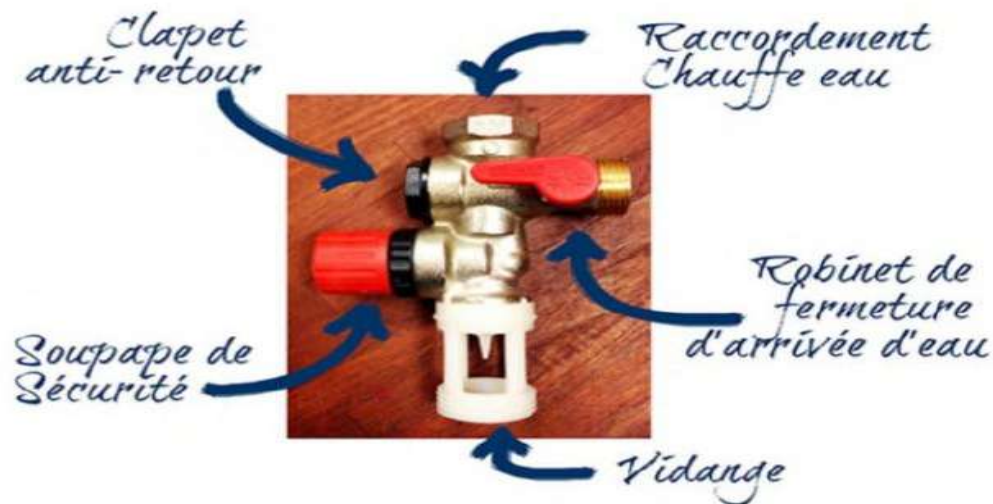


Figure II.21 : groupe de sécurité

F- Fluide caloporteur :

Un fluide caloporteur est un liquide utilisé pour transporter de la chaleur d'un point à un autre.

Dans un circuit de chauffage courant, le fluide caloporteur est simplement de l'eau qui est chauffée dans la chaudière destinée à céder sa chaleur en se diffusant dans des radiateurs. On utilise de l'eau glycolé (eau+antigel) comme fluide caloporteur dans les installations de géothermie dans le circuit primaire enterré (capteur géothermique) et dans le circuit secondaire.

Dans le cas de transport de froid on parle de fluide frigoporteur. [77]

II.6- fonctionnement d'un chauffe-eau (thermosiphon) :

Dans le panneau solaire thermique, l'eau ou un liquide caloporteur chauffe sous l'action du soleil. Ce liquide part ensuite vers le chauffe-eau. Il traverse le chauffe eau dans un serpentin et diffuse la chaleur qu'il a emmagasinée. Puis il remonte vers le panneau. Une énergie d'appoint permet de chauffer votre eau les jours de mauvais temps.

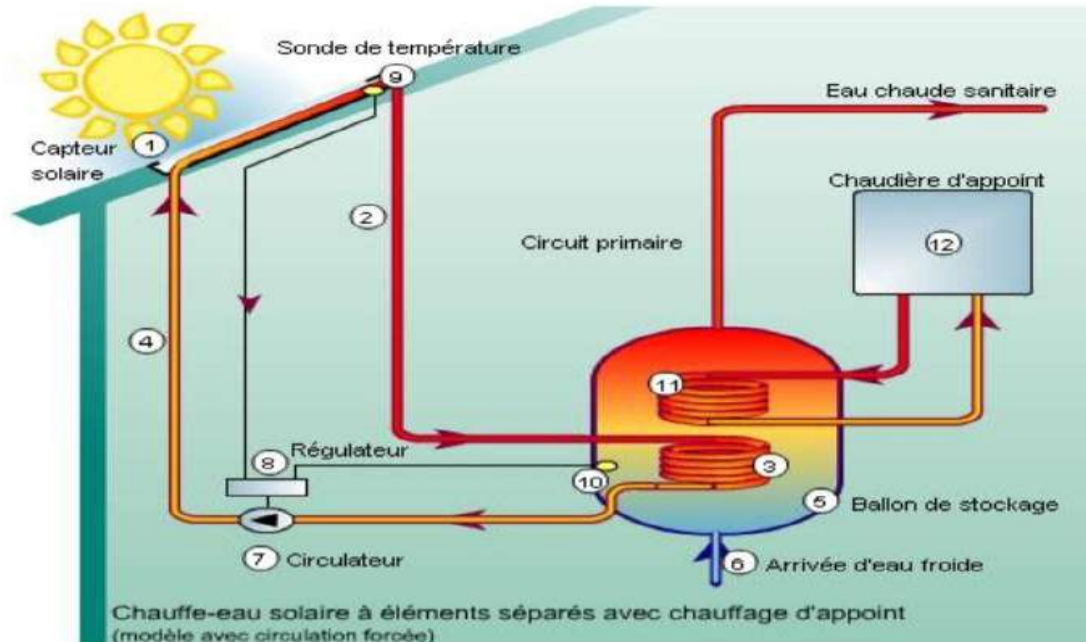


Figure II.22 : Schéma général de fonctionnement d'un chauffe eau solaire

- Le capteur solaire (1) absorbe l'énergie des rayons du soleil et la restitue sous forme de chaleur, ce capteur est en général placé sur le toit.
- Le circuit primaire (2) transporte la chaleur, il est étanche, calorifugé et contient de l'eau additionnée d'antigel. Ce liquide s'échauffe en passant dans les tubes du capteur, et se dirige vers un ballon de stockage.
- L'échangeur thermique (3) (serpentin) cède ses calories solaires à l'eau sanitaire.
- Le liquide refroidi, repart vers le capteur (4) où il est à nouveau chauffé tant que l'ensoleillement reste efficace.
- Le ballon de stockage (5) ou le ballon solaire est une cuve métallique qui constitue la réserve d'eau sanitaire.
- L'eau froide du réseau (6) remplace l'eau chaude soutirée, elle sera de nouveau réchauffée à son tour par le liquide du circuit primaire.

- Le circulateur (7) met en mouvement le liquide caloporteur quand il est plus chaud que l'eau sanitaire du ballon.
- Son fonctionnement est commandé par un dispositif de régulation (8) jouant sur les différences de températures : si la sonde du ballon (10) est plus chaude que celle du capteur (9), la régulation coupe le circulateur. Sinon, le circulateur est remis en route et le liquide primaire réchauffe l'eau sanitaire du ballon.
- En hiver ou lors de longue période de mauvais temps, la totalité de la production d'eau chaude ne peut être assurée par cette énergie solaire, un dispositif d'appoint (résistance ou serpentin raccordé à une chaudière d'appoint (12) prend donc le relais et reconstitue un stock d'eau chaude. [78]

II.7- Chauffage solaire de l'habitat :

L'avenir du chauffage solaire dépend beaucoup des architectes, qui sont appelés de plus en plus à s'intéresser à ce système de chauffage selon le climat, la situation des bâtiments, leur orientation et leur destination. Pour faire du chauffage solaire, on emploie actuellement des isolateurs plans, ou des « serres captâtes » verticales en façades dans le cas particulier du chauffage par air chaud selon le procédé de Trombe et Michel. [79]

D'une façon générale, le chauffage est à eau chaude ou à air chaud, les isolateurs étant disposés, selon les cas, sur la toiture ou sur la façade sud, ou même simplement près du sol à l'écart du bâtiment. Il faut prévoir le stockage de chaleur. Celui-ci peut être fait dans des réservoirs d'eau chaude, ou dans des massifs de maçonnerie ou de pierres, mais l'addition de tels éléments est coûteuse à moins qu'elle ne soit prévue dans la construction. Les réservoirs d'eau chaude bien calorifugés ont des pertes thermiques relativement faibles et la température de l'eau ne baisse pas de plus de 3° à 4°C en 24 heures. [80]

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

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

La captation s'effectue généralement par des parois vitrées orientées au sud. Le stockage peut se faire soit par des parois à haute inertie spécialement conçues à cet effet ou par les éléments de la structure tels que murs, sol, etc. La restitution ou distribution de l'énergie s'effectue directement à partir du stockage par convection naturelle. Le contrôle est assuré soit manuellement par l'occultation nocturne des surfaces de captation, soit par des effets d'ombre sur les murs capteurs pour minimiser la captation en été. [81]

II.8-L'effet de serre :

Son principe réside dans le fait qu'un matériau transparent pour le rayonnement solaire peut être opaque au rayonnement infrarouge. Le rayonnement de courtes longueurs d'onde va traverser ces matériaux, échauffer la plaque absorbante qui va rayonner dans les grandes longueurs d'ondes, c'est-à-dire dans l'infrarouge. Ce rayonnement infrarouge, ne peuvent s'échapper, va être en partie absorbé par la couverture qui s'échauffe et en partie réfléchi vers la plaque qui elle aussi s'échauffe. Mais bien entendu si la puissance reçue par le capteur est constante, au bout d'un certain temps, un équilibre s'installe. Les apports solaires sont alors égaux aux pertes thermiques. Ces dernières se font principalement par rayonnement et convection de la couverture avec l'extérieur. Quand le capteur a atteint son équilibre thermique, la température de la plaque est autant plus élevée que l'effet de serre est plus prononcé. On peut s'en rendre compte avec les capteurs à double vitrage qui permettent d'atteindre des températures d'équilibre plus grandes qu'avec un simple vitrage.

II.9- Effet thermosiphon :

Un thermosiphon est le phénomène de circulation naturelle d'un liquide dans une installation du fait de la variation de sa masse volumique en fonction de la température, la partie de fluide chaud devient léger monte vers le haut et remplacée par le fluide froid qu'est lourde, ce qui crée une circulation naturelle du fluide.

II.10-Energie d'appoint :

Energie nécessaire pour compléter la production solaire ou la relayer en cas d'ensoleillement insuffisant ou nul (ce peut être le gaz, le fioul, l'électricité ou le bois). Sous les latitudes européennes, pratiquement tous les systèmes solaires thermiques recourent à une énergie d'appoint. [82]

II.11- Les avantages et inconvénients :

❖ **Avantage :**

Le principal atout d'un chauffe-eau solaire est qu'il dépend du soleil. À moins d'un cataclysme, le soleil continuera à se lever pendant plusieurs milliards d'années, vous offrant donc une source d'énergie inépuisable. C'est une énergie qui est également écologique :

- On diminue grandement les émissions de CO₂, la captation solaire ne provoquant aucune émission polluante.
- On préserve les énergies fossiles qui brûlent pour apporter de l'énergie et sont forcément bien plus polluantes.

Le chauffe-eau solaire nous permet de ne plus chauffer l'eau à l'aide de l'électricité ou d'une chaudière pendant plusieurs mois. On peut espérer obtenir entre 40 et 70 % de nos besoins en eau chaude au cours de l'année. Bien sûr c'est un atout financier, puisqu'on économisera entre 40 et 70 % sur notre facture d'eau chaude. La facture d'électricité sera généralement allégée, dans certains cas jusqu'à 30 %. Pour une maison utilisant le chauffage au sol, et se servant d'un chauffe-eau solaire, on estime qu'il est possible de réaliser une économie de plus de 50€ par mois.

Enfin, c'est un système qui ne réclame que très d'entretien et qui est conçu pour fonctionner de manière quasi-autonome pendant 20 ans au minimum. [83]

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 une 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). [70]

II.12- Conclusion :

Les chauffe-eau solaires sont des dispositifs qui sert à produire de l'eau chaude à partir du Rayonnement solaire, le capteur solaire est l'un des composants essentiels de chauffe-eau solaire son rôle principale est de capter le rayonnement solaire et le convertir sous forme de chaleur,

Dans le chapitre qui suit on procède à une étude thermique pour les capteurs solaires et les chauffe eau solaire.

Chapitre III :
Installation de chauffage solaire

III- Introduction :

Compte tenu des changements climatiques signalés ces dernières années et des conditions météorologiques extrêmes dans les régions intérieures de notre pays (Algérie) ; Les Algériens souffrent du froid extrême en hiver, car les anciens systèmes de chauffage (chauffage au combustible solide et/ou liquide) ne sont plus en mesure de répondre à leurs besoins thermiques pour assurer le confort des occupants des locaux résidentiels ou scolaires, administratifs ou autres. De cela, nous discutons dans ce chapitre le concept correct de chauffage, les types d'installations. Puis on va citer les différents systèmes de chauffage, les éléments constitutifs et les principaux cas d'installation solaire en suite on va étudier thermiquement de les quelles. Enfin on conclure ce chapitre avec son côté économique et les impacts sur l'environnement.

III.1- Le confort thermique :

Le confort thermique veut dire la sensation à la chaleur et à l'humidité dans un environnement donné et dans une saison donnée. En hiver, un bon confort doit garantir une sensation suffisante de chaleur. Tandis qu'en été, le confort doit limiter cette chaleur pour éviter les surchauffes. Le confort thermique donc, un état de satisfaction du corps humain contre l'environnement thermique. [82]

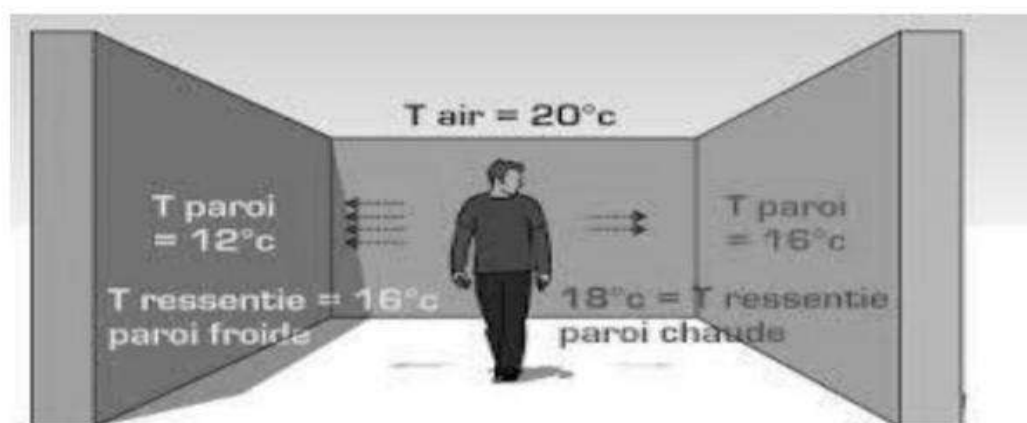


Figure III-1 : Confort thermique dans un local d'habitation [83]

III.1.2- Paramètres de confort thermique :

Il existe six paramètres essentiels du confort thermique :

- **Température de l'air :**

La température de l'air est le premier critère qui vient à l'esprit qui même s'il est déterminant n'est pas le seul pour obtenir un confort thermique satisfaisant, il faut paramétrer une température

de consigne suffisante. La température sèche ambiante de confort est située entre 18°C et 24°C.

- **Le métabolisme humain :**

Le corps humain produit de la chaleur interne pour maintenir celui-ci autour de 36.7°C. Un métabolisme de travail correspondant à une activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos. Le niveau d'activité varie en fonction de sa sensibilité à son activité.

- **La température radiative moyenne :**

La température radiative moyenne a une grande influence sur la température ressentie. Pour calculer simplement la température ressentie, il faut faire la moyenne entre la température des parois et la température ambiante.

- **L'humidité relative de l'air :**

L'humidité relative de l'air est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température et la quantité maximale d'eau contenue à la même température. Un taux d'humidité situé entre 30% et 70% permet un confort thermique normal.

- **La vitesse de l'air :**

La vitesse de l'air dans un local diminue la sensation de confort. Cette vitesse ne devrait pas dépasser les 0.2m/s à 0.3m/s.

- **L'habillement :**

L'habillement présente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement, tout comme l'isolation d'une maison en créant une résistance thermique qui conserve la chaleur à l'intérieur. [82]

III.2- Le chauffage :

Le chauffage est l'élément le plus important pour assurer le confort thermique. Il existe de nombreuses techniques dont le choix dépend des énergies disponibles (gaz, fioul, électricité, charbon, soleil.ect.), des dimensions des pièces à chauffer et de leur exposition au soleil, du Mode d'occupation et de l'état général du bâtiment notamment de son isolation. Le chauffage est aussi une action de transmettre de l'énergie thermique à un élément, un matériau ou à l'air ambiant. On distingue deux types de chauffage : le premier à des fins de confort thermique et le deuxième à des fins industrielles. [84]

III.2.1- le chauffage solaire :

Des capteurs thermiques, grâce à l'énergie solaire, servent à chauffer un liquide caloporteur. Ce liquide peut alors être utilisé soit pour le chauffage des maisons, soit pour la production d'eau chaude sanitaire ou soit pour chauffer l'eau des piscines. La surface des capteurs solaires requis pour une résidence est 25% de la surface habitable selon la région qu'on habite. On s'assurera également que le système de chauffage solaire ne sera pas gêné par l'ombre d'immeubles voisins ou par des arbres. En hiver, on devra dégager les capteurs solaires de la neigeux de la glace si tel est le cas. Coût chauffage solaire Étant donné que le chauffage solaire est une énergie totalement renouvelable, le coût de consommation est nul. Par contre les coûts d'installation d'un système de chauffage solaire sont élevés. Et de plus, il faudra prévoir un système de chauffage d'appoint afin de pallier au manque de chaleur lors des journées peu ensoleillées

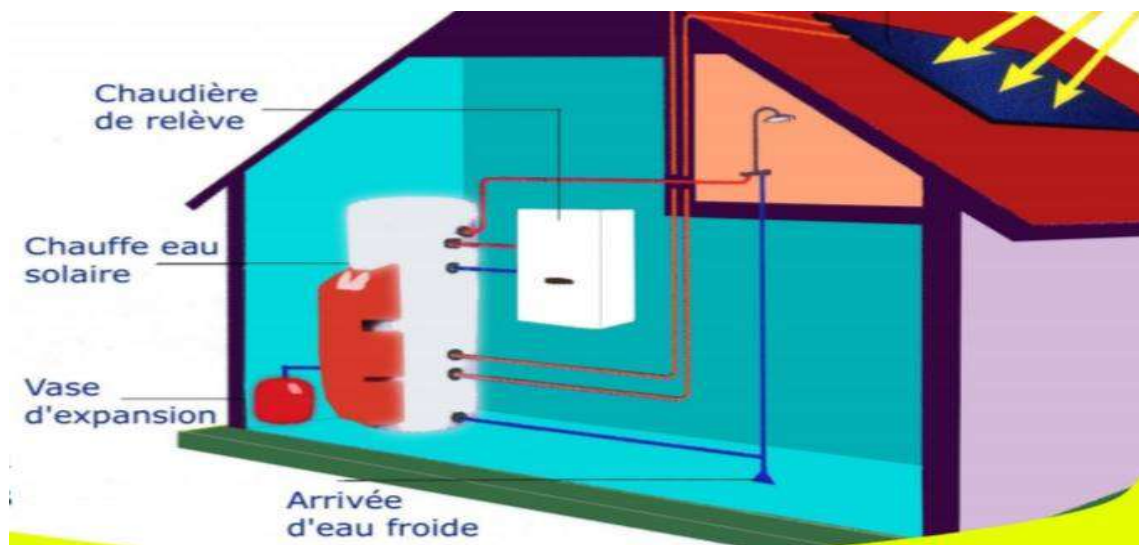
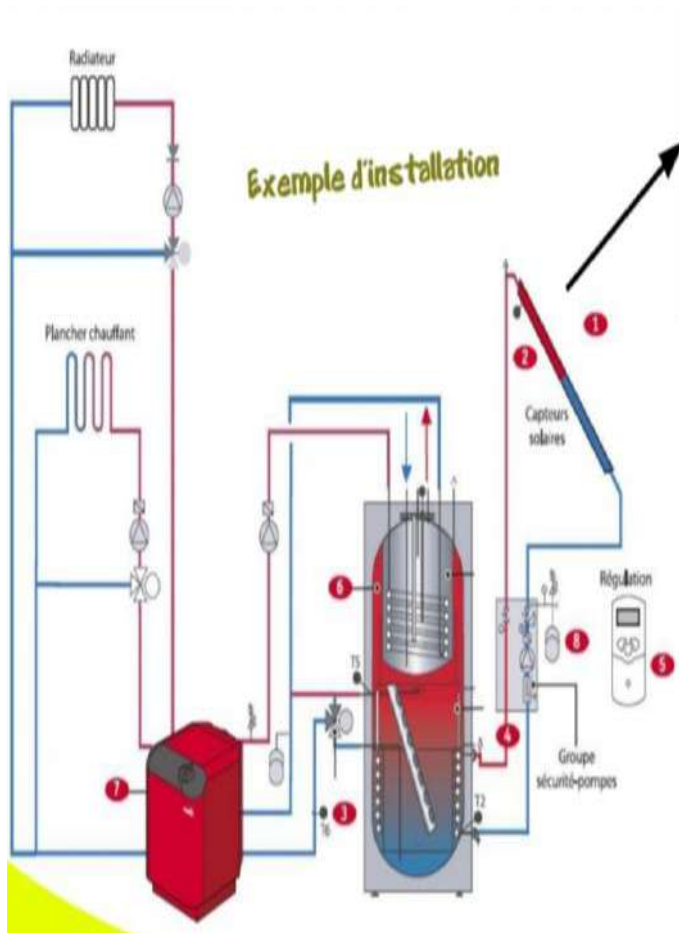


Figure III-2 : Les éléments d'un système de chauffage solaire

III.2.1.1- Exemple d'installation :



- 1 Panneau solaire
- 2 Sonde du capteur
- 3 Vanne 3 voies
- 4 Kit pompe solaire et groupe de sécurité
- 5 Régulateur solaire associé à la pompe et à la vanne 3 voies
- 6 Ballon primaire
- 7 Chaudière fioul ou gaz
- 8 Vase d'expansion solaire

Figure III-3 : installation de chauffage solaire

III.2.2- le chauffage géothermique :

Le chauffage géothermique récupère la chaleur qui est emmagasiné dans la terre pour la redistribuer dans la maison. Les systèmes de chauffage géothermique existent sous deux formes :

- ✓ Avec capteur horizontal.
- ✓ Avec capteur vertical

Pour 1 kWh électrique consommé par le système, il est possible d'obtenir plus de 4 kWh de chaleur.

Avec capteur vertical :

On entre prend un forage d'environ 100 mètres de profondeur dans lequel on insère le réseau de tuyaux. Ce type d'installation est idéal pour les propriétaires ayant de petits terrains.

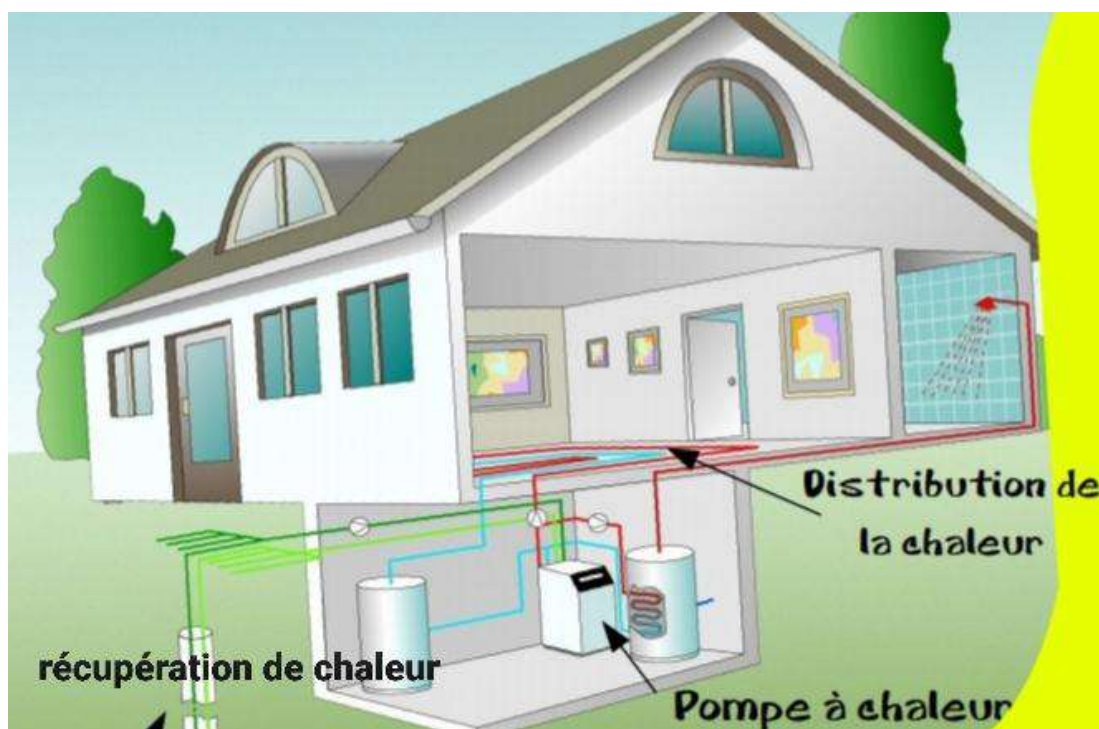


Figure III-4 : chauffage géothermique avec capteur vertical

Avec capteur horizontal :

Le réseau de tuyaux est enterré horizontalement à moins d'un mètre dans le sol. Ce type d'installation est moins coûteux mais nécessite un grand terrain capable d'accueillir un réseau de tuyaux ayant une surface deux fois plus grande que la maison. Un inconvénient

Majeur : on ne pourra planter d'arbres à proximité du réseau de tuyaux, car les racines pourraient éventuellement endommager les tubes contenant les fluides.

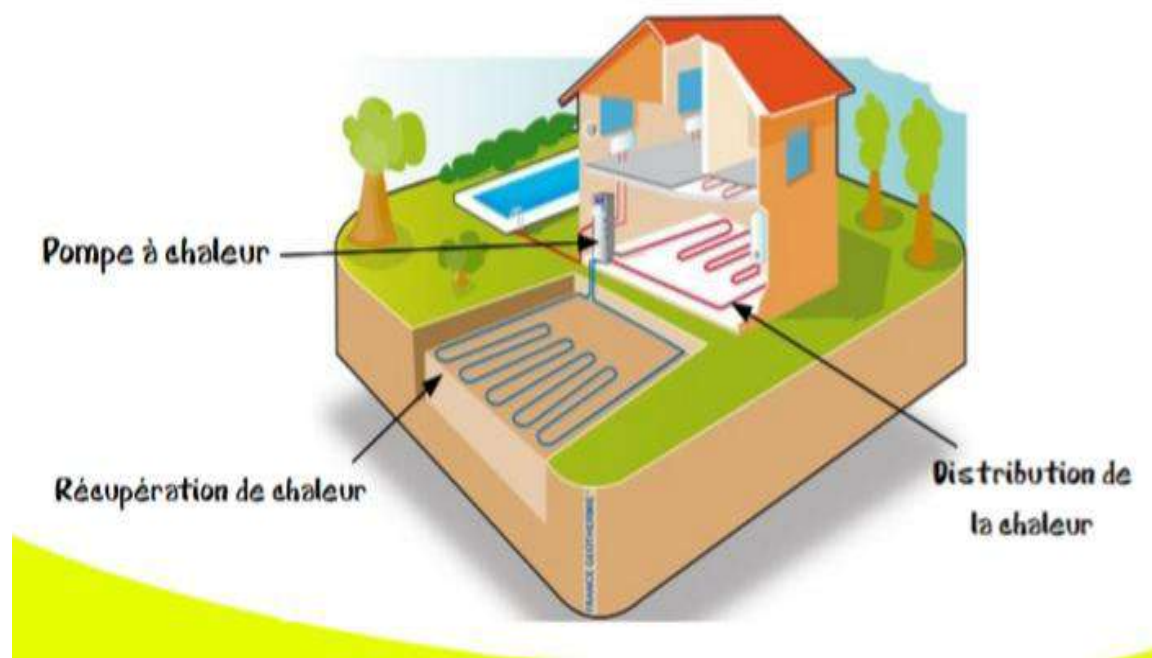


Figure III-5 : chauffages géothermiques avec capteur horizontal

III.2.3- Le chauffage aérotherme :

Dans le cas de l'aérotherme, la pompe à chaleur capte directement la chaleur de l'air extérieur par son ventilateur et son échangeur air puis cette chaleur est redistribuée dans la maison.

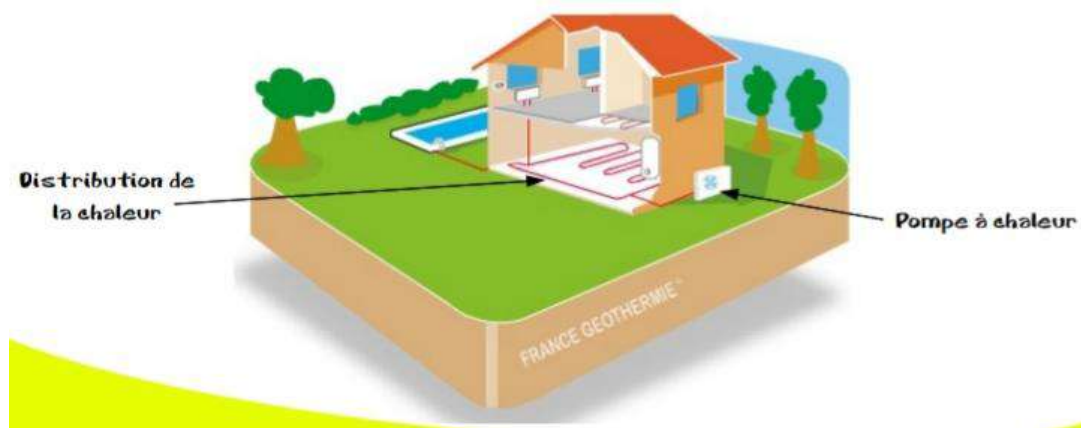


Figure III-6 : chauffages aérotherme [85]

III.3- Sources d'énergie :

Un système de chauffage fonctionne à partir d'une énergie primaire qui peut être d'origine Fossile (on parle d'énergies fossiles comme le fioul, le charbon, le gaz naturel, GPL ou gaz de Pétrole liquéfié), ou qui a servi à produire de l'électricité (provenant de centrales nucléaires, de barrages hydrauliques, voire de centrales thermiques fonctionnant aux énergies fossiles...). Les énergies renouvelables comme le bois, l'énergie solaire, la géothermie, etc. sont également des sources utilisées pour le chauffage. Les combustibles peuvent être classés par état en combustibles solide, combustibles Liquides, combustibles gazeux. À chaque état correspond un certain type de stockage et De transport ainsi que des précautions incendie et sanitaires particulières et des types D'appareil de chauffage (chaudière ou chauffe-eau, brûleur, corps de chauffe, etc.) particuliers.

L'énergie consommée et comptabilisée à la pompe (pompe à fioul, stère de bois, compteur D'électricité, compteur de gaz) s'appelle « énergie finale ». [86]

III.4- Les Mode de transfert de chaleur :

Un capteur solaire met en jeu simultanément les trois modes de transfert thermique, conduction, convection et rayonnement (figure III.7).

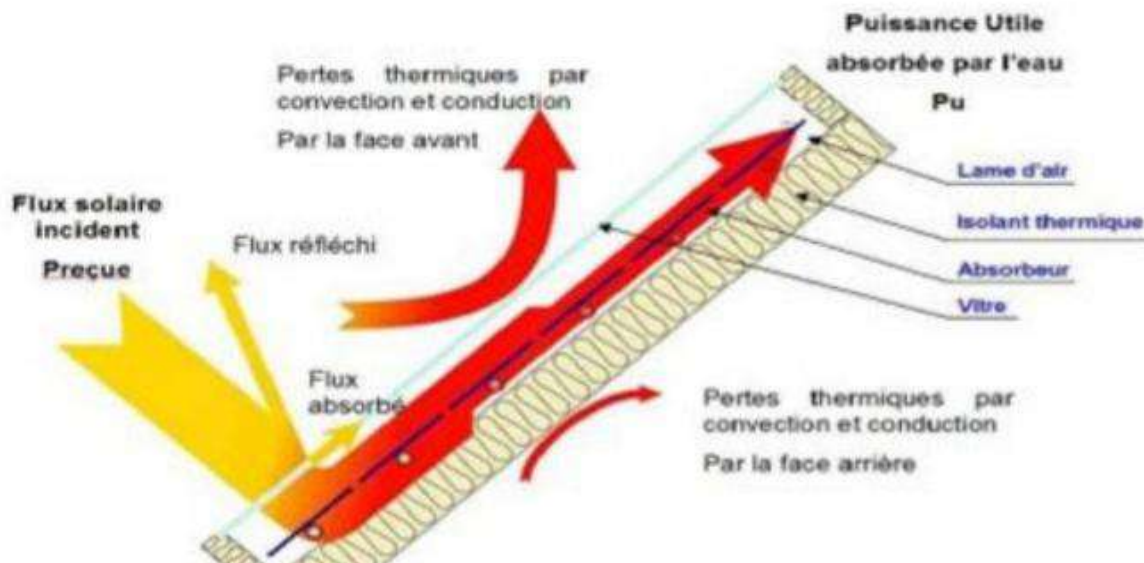


Figure III-7 : Les différents échanges thermiques dans un capteur plan [87]

III.4.1- La conduction :

La conduction est le mode de transfert de chaleur caractérisé par la propagation de l'énergie thermique dans un milieu matériel sans déplacement de la matière. La loi correspondant à ce processus de diffusion thermique est la loi de Fourier donnée par la relation. [88]

$$q = -k \times A \times \text{grad } T \quad (\text{III.1})$$

q : flux de chaleur.

k : coefficient de conductivité thermique.

A : surface d'échange.

Dans le capteur plan les échanges par conduction existent principalement entre :

Les faces supérieures et inférieures de la vitre h_{cv} .

Les faces supérieures et inférieures de l'isolant h_{is} .

L'absorbeur et l'isolant hevai.

Le flux de chaleur par conduction entre l'absorbeur et l'isolant est donné par. [89]

III.4.2- La convection :

La convection est un transport d'énergie dû à des mouvements macroscopiques On distingue deux types de convection :

- ❖ La convection forcée : le mouvement du milieu est engendré par un dispositif externe (le vent, une pompe, un ventilateur...etc.).
- ❖ La convection naturelle : le mouvement du fluide est engendré par les variations de densité causées par des variations de température au sein du fluide, tel est le cas de la thermo circulation.

Le transfert thermique convectif est régi par la loi de Newton. [90]

$$q = h \times S \times (T_p - T_f) \quad \text{(III.2)}$$

q : le flux échangé par convection

h : coefficient de convection.

S : surface de la paroi solide en contact avec le fluide.

T_p : température de la paroi solide.

T_f : température du fluide.

Dans un capteur plan l'échange par convection s'effectue entre :

- La vitre et l'ambiance, par convection libre ou forcée par le vent.
- La vitre et la plaque de l'absorbeur par convection libre.
- Le tube et le fluide par convection libre.
- Entre le fluide et l'isolant par convection libre.
- Entre l'isolant et l'ambiance par convection libre ou forcée par le vent. [91]

III.4.3- Le rayonnement :

Le transfert de chaleur par rayonnement a lieu lorsque de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques est émise par une surface et absorbée par une autre. Cet échange peut avoir lieu lorsque les corps sont séparés par le vide ou par n'importe quel milieu intermédiaire suffisamment transparent pour les ondes électromagnétiques. La loi fondamentale du rayonnement est celle de Stefan-Boltzmann [80] :

$$q = \varepsilon \times \sigma \times T \quad (\text{III.3})$$

q : densité de flux de chaleur émis par le corps.

ε : émissivité thermique du matériau.

σ : constante de Stefan-Boltzmann évaluée à $5,6 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2$.

T : température absolue du corps.

Dans un capteur solaire plan le transfert par rayonnement s'effectue entre :

- La vitre et le ciel.
- La vitre et l'absorbeur.
- L'isolant et le sol. [91]

III.5- Types d'installations de chauffage :

III.5.1- Installation de chauffage à eau chaude :

Une installation de chauffage central à eau chaude se compose généralement d'une à deux chaudières reliées à un conduit d'évacuation des gaz de combustion, d'un réseau de tuyauteries, d'un ensemble de corps de chauffe distribué dans les différents locaux à chauffer et d'un système de régulation servant à contrôler la production de chaleur. En plus, un vase d'expansion pour maintenir l'équilibre thermique de l'installation.

III.5.2- Installation de chauffage à air chaud :

L'installation de chauffage à air chaud est un système de chauffe des bâtiments. Dans ce cas, l'air chaud est distribué au moyen de conduits alimentant les différentes pièces. L'air de

ces installations est souvent chauffé par un générateur et propulsé par un ventilateur à travers un réseau de conduits vers les pièces à chauffer.

➤ **Avantage :**

-Le système est très réactif.

➤ **Inconvénients :**

- Le ventilateur peut parfois être bruyant si l'installation est déficiente

III.5.3- Installation de chauffage à combustible :

Le chauffage à combustibles se répartit en trois grandes catégories selon l'état physique Dans la condition standard de température et de pression. Les combustibles utilisés sont:

- Les combustibles solide (charbon, bois...)
- Les combustibles liquides (GPL, fioul lourd)
- Les gaz combustibles, le gaz naturel constituant à lui une source d'énergie primaire.

Le chauffage à combustible du gaz ou du fioul dégage des gaz toxiques (CO, NO, NO₂), il est donc indispensable de les évacuer hors logement. Les gaz de combustible sont directement rejetés dans la pièce.

III.6- Les différents systèmes de chauffage :

Un système de chauffage assure la production de la chaleur, l'émission par un réseau de distribution et la régulation dans tous les locaux. Tous les éléments techniques et thermiques sont liés entre eux. Il existe trois systèmes de chauffage fondamentaux :

III.6.1- Chauffage individuel ou collectif :

a) Chauffage individuel :

Le chauffage individuel est un chauffage d'une pièce par un ou plusieurs appareils de chauffage qui sont installés. Ces appareils de chauffe transformeront l'énergie pour chauffer une pièce. Il permet non seulement de choisir son énergie pour se chauffer (électricité, gaz,

Fioul,) mais aussi de maîtriser sa consommation selon ses envies, à l'aide de systèmes de régulation sophistiqués.

b) Chauffage collectif:

Le chauffage collectif est un système écologique produisant de la chaleur de manière centralisée. Cette dernière est ensuite distribuée dans un rayon déterminé en vue de garantir l'approvisionnement en chauffage et en eau chaude sanitaire à tout type d'utilisation

Avantages chauffage collectif :

- Des économies liées au stockage et à l'achat du combustible nécessaire au chauffage,
- Des économies en surface habitable.

III.6.2- Chauffage centrale ou décentralisé :

a) Chauffage central :

Le chauffage central désigne le mode de chauffage par lequel un ensemble de pièces est chauffé au même temps ; cela, à partir d'un seul générateur de chaleur appelé chaudière. La chaleur est acheminée au moyen d'un fluide caloporteur (eau chaude) dans des tuyaux vers les corps de chauffe situés dans les différents locaux.

Avantages du chauffage central :

- Cout d'investissement faible,
- Pollution atmosphérique réduite. [92]

b) Chauffage décentralisé ou chauffage local :

Contrairement au chauffage central, un système où les fonctions de génération et d'émission sont assurées conjointement au sein de chaque appareil. Il n'y a pas de fluide caloporteur, pas de réseau permettant d'acheminer ce fluide et donc pas de fonction

III.6.3- Système de chauffage solaire:

Un système de chauffage solaire évite le rejet d'une quantité annuelle de CO₂ dans l'atmosphère. Économiquement, on peut réduire de 50 à 80 % de la facture énergétique.

III.6.3.1- Système de chauffage solaire de l'air :

Chauffe-air solaire : Le capteur solaire chauffe-air est constitué d'une plaque absorbante, située sous une vitre de verre trempé, qui capte la chaleur des rayons solaires. Un ventilateur commandé par un thermostat-contrôleur transfère la chaleur de la plaque absorbante à l'air intérieur du bâtiment à chauffer. L'appareil est conçu pour être installé sur un mur orienté vers le sud. Il peut aussi être installé sur un toit d'une pente minimale de 45 degrés afin d'éviter l'accumulation de neige.

III.6.3.2- Les chauffe-eau solaires :

Le principe d'un chauffe-eau solaire est simple, des panneaux solaires sont installés généralement en toiture, transforment la lumière du soleil en chaleur. Un circuit de plomberie permet de ramener cette chaleur dans un ballon, où l'eau chaude sanitaire est stockée en attendant d'être utilisée. Durant la journée le soleil fait monter en température de l'eau du ballon. Lorsque le soleil est trop voilé une régulation arrête la circulation entre les panneaux et le ballon. L'eau chaude, protégée par l'isolation du ballon, reste disponible plusieurs jours pour les usages domestiques. Une source d'énergie complémentaire permet de pallier les périodes de mauvais ensoleillement prolongé. Elle se déclenche lorsque la température de l'eau dans le ballon descend en dessous d'une température de consigne.

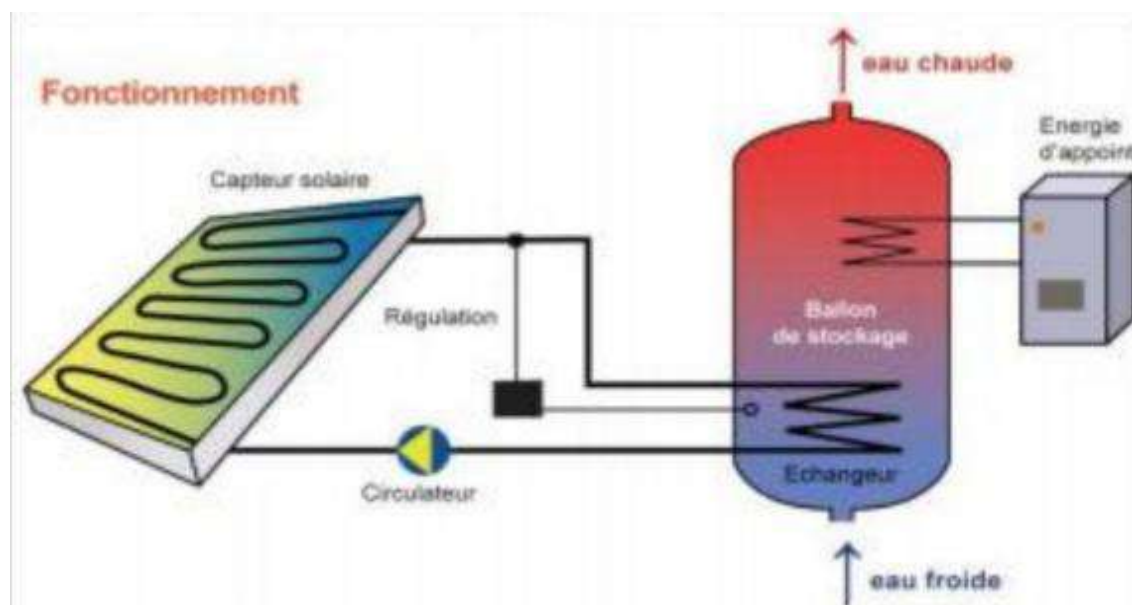


Figure III-8 : Constituants du système de chauffage solaire de l'eau.

III.6.3.3- Système solaire combiné (SSC) :

Aussi appelé combi système, c'est une installation qui utilise le rayonnement solaire pour couvrir une partie des besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire. Comme son nom l'indique, le système solaire combiné, associe chauffage de l'eau chaude sanitaire et chauffage de l'habitat. En plus de réchauffer l'eau sanitaire, le caloporteur transmet sa chaleur au réseau d'eau de chauffage également stockée dans un ballon et toujours par le biais d'un échangeur thermique. C'est ensuite l'eau de chauffage qui circule dans les radiateurs pour réchauffer l'air ambiant. Là encore, il convient de prévoir une chaudière classique pour prendre le relais en cas de besoins. [93]

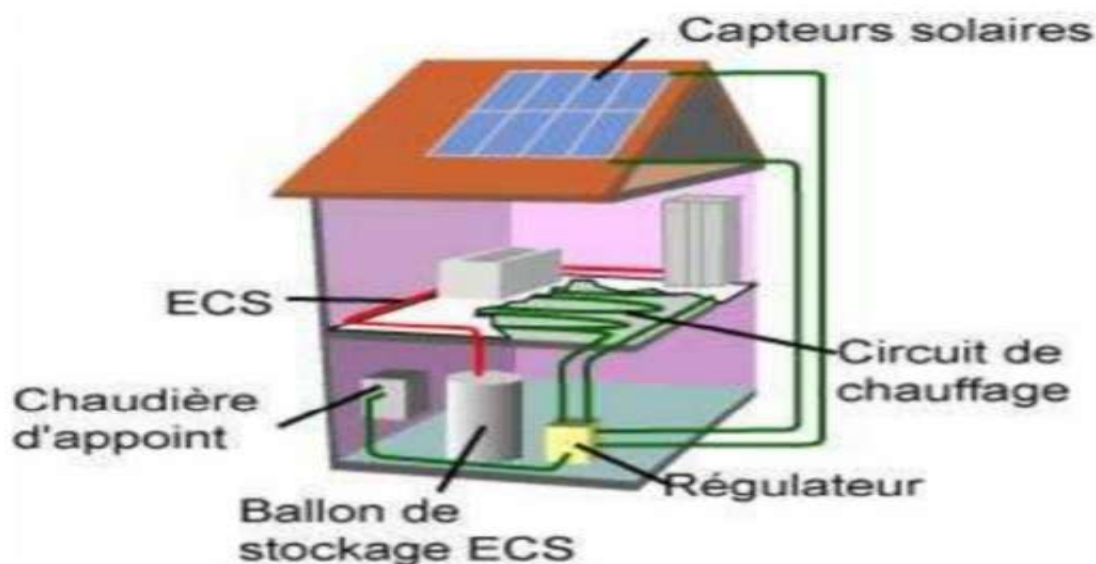


Figure III- 9: Les systèmes solaires combinés (SSC)

III.7- Les éléments constitutifs d'une installation thermique :

Structure d'un système de chauffage Un système de chauffage comprend nécessairement :

- Une source de chaleur
- Un émetteur de chaleur: Cet émetteur peut être statique comme un radiateur, un convecteur, un plancher chauffant ou dynamique comme un ventilo-convecteur, une centrale de traitement d'air, un aérotherme.

Un système de chauffage peut aussi comprendre:

- Un système de stockage de la chaleur
- un ou plusieurs systèmes de transport de la chaleur : le transport de la chaleur est réalisé le plus souvent au moyen d'un fluide présentant une capacité calorifique élevée, appelé fluide caloporteur.

Le fluide caloporteur peut être:

- L'eau chaude: l'eau réchauffée (l'installation comporte un générateur de chaleur (chaudière ou bouilleur), une distribution d'eau et des émetteurs de chaleur)
- L'air pulsé: l'air ambiant réchauffé (l'installation comporte un générateur d'air chaud et le plus souvent une distribution de cet air chaud)

Un fluide caloporteur: en général une huile (réservé aux très grosses installations et en général au transport de la chaleur entre la production centralisée et des sous-stations qui sont des interfaces entre un réseau de production dit « primaire » et un réseau de distribution jusqu'aux émetteurs de chaleur dit « secondaire »).[94]

III.8- principaux cas d'utilisation :

Des systèmes collectifs de production d'eau chaude, associés à des dispositifs d'appoint utilisant des énergies conventionnelles, se rencontrent dans de nombreux secteurs (tertiaire, résidentiel, équipements sportifs...). La production peut être assurée soit de façon collective avec un appoint centralisé et une répartition de l'eau chaude au niveau de chaque point de consommation, soit produite de façon décentralisée tant au niveau du dispositif solaire que de l'appoint.

III.8.1- Eau chaude sanitaire :

La consommation d'eau chaude est un élément essentiel de la détermination du chauffe-eau solaire. Elle doit être connue avec le plus de précision possible et, lorsqu'il s'agit d'un établissement existant, on procédera autant que possible à des mesures de consommation préalables. On notera que, pour ce qui concerne la performance future du système solaire, il est préférable de sous-estimer les consommations plutôt que de les surestimer.

III.8.2- Eau chaude industrielle :

L'énergie solaire peut être utilisée pour assurer les besoins d'eau chaude sanitaire dans le secteur industriel. Si le niveau de température est élevé, il s'agira le plus souvent d'apporter, grâce à l'énergie solaire, un préchauffage de l'eau. Lorsque les besoins d'eau chaude sont importants, il sera nécessaire de bien connaître les profils de consommation journaliers et hebdomadaires afin de calculer avec précision le volume de ballons de stockage

III.8.3- Schémas types d'installations :

L'installation solaire collective comprend le plus souvent un échangeur externe entre le circuit capteurs (circuit primaire) et le circuit eau chaude.

L'installation comprendra également :

- Une régulation spécifique pour eau chaude collective
- Des pompes de circulation
- Un vase d'expansion
- Une panoplie d'accessoires hydrauliques (vannes d'arrêt, d'équilibrage, clapet, dispositifs de sécurité...).

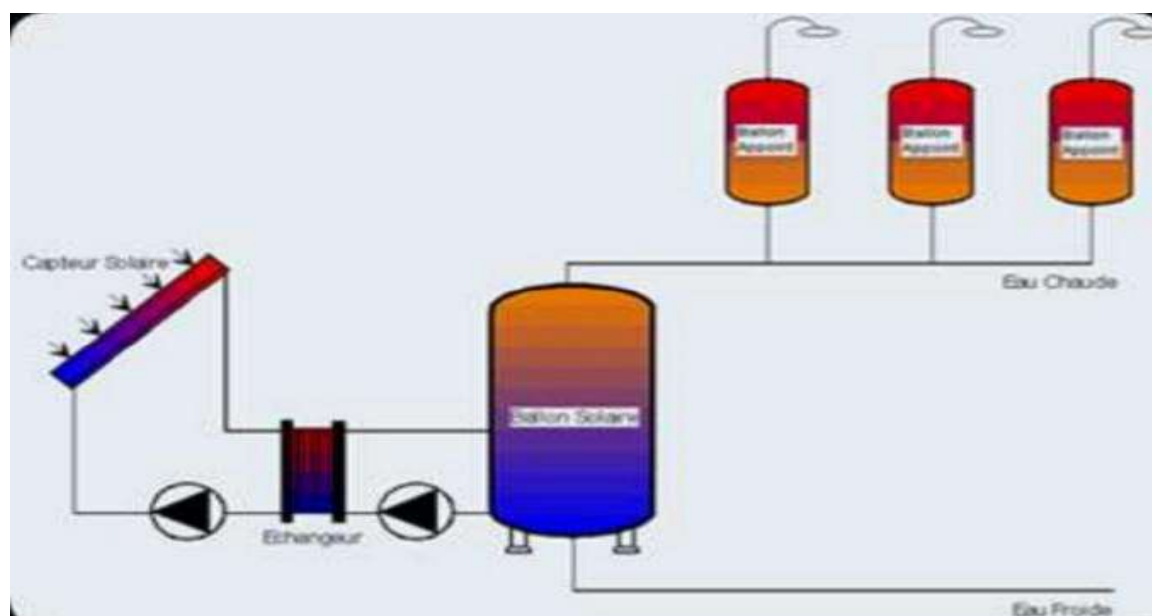


Figure III-10 : Chauffe-eau solaire collectif avec appoint individualisé

Une métrologie (compteurs volumétriques, sondes de températures ECS) et son dispositif de traitement et de communication permettant la télé suivi pour mise en œuvre de la GRS. [8]

III.9- Etude thermique d'une installation de chauffage solaire :

III.9.1- Bilan énergétique du capteur :

Soit Q_{sa} l'énergie solaire absorbée par un capteur, une partie de celle-ci est récupérée par le fluide caloporteur c'est l'énergie utile Q_u . Cette énergie peut être directement utilisée ou bien transférée vers un système de stockage (ballon d'eau chaude par exemple). Un capteur solaire est aussi sujet à des pertes thermiques. Une partie de l'énergie absorbée est transférée vers l'environnement sous forme d'énergie thermique principalement par convection et rayonnement. Ces pertes seront notées Q_p . Enfin si on s'intéresse à une période de mise en température du système (au démarrage par exemple) il faudra tenir compte de l'énergie absorbée par le capteur nécessaire à cette montée en température. Cette énergie notée Q_{st} , dépend de l'inertie thermique de l'installation. Ainsi le bilan thermique global s'écrit : [2]

$$Q_{sa} = Q_u + Q_p + Q_{st} \quad (III.4)$$

III.9.1.1- Hypothèses :

Pour simplifier notre étude, un certain nombre d'hypothèses ont été considérées : [95]

1. La surface du capteur est uniformément éclairée.
2. Le ciel est considéré comme un corps noir à la température T_{ciel} .
3. Chacun des éléments du capteur soit à une température homogène.
4. Régime permanent.
5. Capteur à inertie thermique négligeable (faibles masse des composants et chaleurs spécifiques).
6. La température de l'air environnant est homogène, par conséquent on considère que les pertes thermiques vers l'avant et l'arrière se font vers la même température ambiante
7. L'effet de dépôt de la poussière et les masques sur le capteur sont négligeables.
8. Ecoulement de chaleur unidimensionnel.

Les hypothèses 4 et 5 font que le flux stocké dans le capteur est négligeable. $Q_{st} = 0$, et donc l'équation du bilan devient :

$$Q_{sa} = Q_u + Q_p \quad (\text{III.5})$$

Sachant que, l'énergie solaire absorbée par l'absorbeur Q_{sa} vaut :

$$Q_{sa} = \tau \alpha_p G_t \quad (\text{III.6})$$

Avec,

τ : Facteur de transmission de la couverture transparente.

α_p : Facteur d'absorption de la plaque absorbante.

G_t : L'éclairement global incident sur le capteur.

III.9.1.2- Rendement du capteur :

Selon [96], la norme C.E.C stipule que l'étude la plus significative des performances thermiques d'un capteur plan est de déterminer son rendement instantané défini comme étant le rapport entre le flux utile récupéré, sur l'éclairement solaire global incident sur le capteur tel que :

$$\eta = \int Q_u dt / \int G_t dt \quad (\text{III.7})$$

Si les conditions sont constantes sur une période de temps, l'efficacité diminue à :

$$\eta = Q_u / G_t \quad (\text{III.8})$$

Où,

G_t : l'éclairement solaire global incident sur le capteur

III.9.1.3- Pertes à l'avant du capteur :

Les pertes thermiques sont dues à la différence de température entre les différents constituants du capteur solaire ainsi qu'avec le milieu ambiant. Elles se manifestent selon les trois modes de transfert de chaleur décrits précédemment.

Elles se divisent en Trois catégories :

- Les pertes vers l'avant,
- Les pertes vers l'arrière,
- Les pertes latérales.

-Echange de chaleur entre la vitre et le milieu extérieur

Les pertes entre la vitre et le milieu extérieur sont dues essentiellement au transfert de chaleur par convection et par rayonnement.

$$Q_{p,av1} = (h_{c,c-am} + h_{r,c-ciel})(T_c - T_{am}) \quad (\text{III.9})$$

$h_{r,c-ciel}$: coefficient d'échange par rayonnement entre la vitre et le ciel donné par

$$h_{r,c-ciel} = \sigma \epsilon_c (T_c^4 - T_{ciel}^4) / T_c - T_{am} \quad (\text{III.10})$$

Avec $T_{ciel} = 0.0552 T_{am}^{1.5}$;

$h_{c,c-a}$: coefficient d'échange par convection entre la vitre et l'ambient ;

$$h_{c,c-a} = 5.67 + 3.86 V_{vent} \quad (\text{III.11})$$

V_{vent} : vitesse du vent

Ce qui nous permet d'écrire l'équation (III.9) sous la forme :

$$Q_{p,av1} = h_{c,c-a}(T_c - T_{am}) + \sigma \epsilon_c (T_c^4 - T_{ciel}^4) \quad (\text{III.12})$$

Ainsi on définit la résistance équivalente entre le vitrage et le milieu ambient $R1$ qui est alors donnée par :

$$R1 = 1 / h_{c,c-a} + h_{r,c-ciel} \quad (\text{III.13})$$

-Echange de chaleur entre la vitre et l'absorbeur

Comme précédemment, l'échange de chaleur entre les deux éléments se fait par convection et par rayonnement.

$$Q_{p,av2} = (h_{c,p-c} + h_{r,p-c}) (T_p - T_c) \quad (III.14)$$

Où,

$h_{r,p-c}$: coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre la vitre et l'absorbeur donnée par :

$$h_{r,p-c} = \sigma (T_p + T_c)(T_p^2 + T_c^2) / (1/\epsilon_p + 1/\epsilon_c - 1) \quad (III.15)$$

ϵ_c : Emissivité du verre ;

ϵ_p : Emissivité de l'absorbeur ;

$h_{c,p-c}$: Coefficient de transfert de chaleur par convection entre la vitre et l'absorbeur.

Pour déterminer le coefficient de convection $h_{c,p-c}$, les corrélations suivantes seront utilisées.

$$Nu = 1 + 1.44 [1 - 1708 (\sin 1.8 \beta)^{1.6} / Ra] [1 - 1708 / Ra \cos \beta] + [(Ra \cdot \cos \beta / 5830)^{1/3} - 1]$$

(III.16)

Avec,

β : étant l'angle d'incidence du capteur,

Ra : le nombre de Rayleigh

$$Ra = g (T_p - T_c) L_{3c} / T_{mava} \cdot \alpha \quad (III.16)$$

Où,

L_c : longueur caractéristique (espace entre l'absorbeur et la vitre) ;

T_m : la température moyenne de l'air entre l'absorbeur et la vitre, donnée par :

$$T_{ma} = T_p + T_c / 2$$

Elle permet d'évaluer les caractéristiques de l'air ($\rho_a, \mu_a, \lambda_a, C_{pa}$).

ν_a : la viscosité cinématique de l'air, $\nu_a = \mu_a / \rho_a$

α : la diffusivité thermique de l'air, $\alpha = \lambda_a / \rho_a \cdot C_{pa}$

$$Nu = hc_{p-c} \cdot Lc / \lambda a$$

D'où on tire le coefficient de convection :

$$hc_{p-c} = Nu (\lambda a / Lc) \quad (III.17)$$

La résistance $R2$ peut être écrite :

$$R2 = 1 / hc_{p-c} + hr_{p-c}$$

Ainsi, Le coefficient de pertes à l'avant du capteur à la température ambiante est :

$$U_{av} = 1 / R1 + R2 \quad (III.18)$$

Duffie et Beckman (1980) ont donné une relation empirique due à Kelvin pour le

calcul du coefficient d'échange global à l'avant U_{av} avec une erreur inférieure à $\pm 0,3$ W/m².

$$U_{av} = \left(\frac{N}{\frac{c}{T_{pm}} \left[\frac{T_{pm} - T_{am}}{N+f} \right]^e + \frac{1}{h_{c,c-a}}} \right)^{-1} + \frac{\sigma (T_{pm} + T_{am})(T_{pm}^2 + T_{am}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p + 0.00591N h_{c,c-a}} + \frac{2N+f-1+0.133\varepsilon_p}{\varepsilon_c} - N} \quad (III.19)$$

Avec, ε_p ε_c

U_{av} : Coefficient de pertes avant (W/m².K),

N : Nombre de vitre,

$$f = (1 + 0.089hc_{c-a} - 0.1166 \times hc_{c-a} \times \varepsilon_p) (1 + 0.07866N),$$

$$hc_{c-a} = 5,67 + 3,86 \times V_{vent},$$

$C = 520(1 - 0.000051\beta^2)$ Pour $0^\circ < \beta < 70^\circ$, et pour $70^\circ < \beta < 90^\circ$ On prend $\beta = 70^\circ$,

$$e = 0.43 (1 - 100T_{pm}),$$

β : Angle d'inclinaison du capteur,

ε_g : Émissivité de la vitre,

ε_p : Émissivité de la plaque absorbante,

T_{am} : Température ambiante (K),

T_{pm} : Température de la plaque moyenne (K).

III.9.1.4- Pertes à l'arrière du capteur :

Il est souvent possible de négliger la résistance par convection devant celle due à la Conduction au sein de l'isolant [97], donc les pertes à l'arrière du capteur sont données par la Formule suivante :

$$Q_{p,ar} = (T_p - T_{is}) / (eis/\lambda_{is}) \quad (\text{III.20})$$

Ainsi, à partir de l'équation (III.20) , on peut ainsi définir le coefficient de pertes arrières U_{artel} que :

$$U_{ar} = 1 / R_4 = \lambda_{is} / eis \quad (\text{III.21})$$

Où λ_{is} et eis sont la conductivité thermique et l'épaisseur d'isolation à l'arrière, respectivement.

III.9.1.5- Pertes par les faces latérales du capteur :

Comme précédemment la résistance par convection est négligée devant celle due à la conduction au sein de l'isolant, donc les pertes par les faces latérales du capteur sont données par la formule :

$$Q_{p,lat} = (T_p - T_{is}) / (eislat/\lambda_{is}) (Ac/Alat) \quad (\text{III.22})$$

Où,

Ac : Surface du capteur ;

$Alat$: Surface des faces latérales du capteur ;

$eislat$: Epaisseur de l'isolant sur ses faces latérales ;

On peut ainsi définir le coefficient de pertes par les faces latérales U_{lattel} que :

$$U_{lat} = (\lambda_{is} / eislat).(Alat / Ac) \quad (\text{III.23})$$

Si l'on suppose que toutes les pertes se font vers une température T_{am} (voir hypothèse simplificatrice numéro 6), alors en sommant les coefficients de pertes avant, latérales et arrière on obtient le coefficient de pertes globales UL :

$$UL = U_{av} + U_{ar} + U_{lat} \quad (\text{III.24})$$

On peut écrire alors la densité du flux de chaleur total perdu comme ceci :

$$Q_p = UL(T_{pm} - T_{am}) \quad (\text{III.25})$$

En remplaçant l'équation (III.25) dans l'équation (*), on obtient l'expression de l'énergie utile suivante :

$$Q_u = \tau c a p G t - UL(T_{pm} - T_{am}) \quad (\text{III.26})$$

En remplaçant l'équation (III.26) dans l'équation (=), on obtient l'expression du rendement instantané du capteur en fonction de la température moyenne de la plaque absorbante .

$$\eta = \tau c a p - UL(T_{pm} - T_{am})/Gt \quad (\text{III.27})$$

III.9.2- Etude thermique de l'absorbeur :

Le but de cette étude thermique est de voir l'influence de la configuration géométrique de l'absorbeur sur le transfert de chaleur dans ce dernier vers le fluide caloporteur. Il faut néanmoins commencer par énoncer un certain nombre d'hypothèses : [98]

- 1) La température de la plaque absorbante T_p est indépendante des directions (Oz) et (Oy) puisque la plaque absorbante est très mince ; elle dépend uniquement de la direction (Ox).
- 2) Le gradient de température autour des tubes est négligeable et donc les tubes seront à une température uniforme T_{tb} .
- 3) Les variations de température suivant la direction de l'écoulement et entre les tubes peuvent être traitées indépendamment.

Le bilan énergétique d'un volume de contrôle représenté par l'élément de la plaque de longueur élémentaire est présenté comme suit :

$$\varphi_{sa} - UL(T_{pm} - T_{am}) + \lambda p \delta (dT / dx)|_{x+\Delta x} - \lambda p \delta (dT / dx)|_{x=0} \quad (\text{III.28})$$

Où,

λ_p , δ sont la conductivité thermique et l'épaisseur de la paroi absorbante

φ_{sa} : densité de flux solaire absorbé par la plaque ($\varphi_{sa} = \tau c \alpha_p G t$)

Ce qui peut s'écrire aussi sous la forme

$$d^2T / dx^2 = (UL / \lambda_p \delta)(T_p - T_{am} - (\varphi_{sa}/UL)) \quad (\text{III.29})$$

En posant : $\bar{T}_p = T_p - T_{am} - (\varphi_{sa} / UL)$ et $m^2 = UL / \lambda_p \delta$ on obtient :

$$d^2 \bar{T}_p / dx^2 - m^2 \bar{T}_p = 0 \quad (\text{III.30})$$

La solution analytique de cette expression est donnée comme suit :

$$\bar{T}_p(x) = C1 \sinh(mx) + C2 \cosh(mx) \quad (\text{III.31})$$

Pour déterminer les constantes C1 et C2 on utilise les conditions aux limites,

Ainsi :

En $x = 0$: $dT/pdx = d\bar{T}/pdx = 0$ par raison de symétrie, on en déduit : $C1 = 0$

En $x = P-De / 2$: $T_p = T_{tb}$, on en déduit : $C2 = (T_{tb} - T_{am} - (\varphi_{sa}/UL)) / (\cosh(m(P-De/2)))$

D'où :

$$(T_p(x) - T_{am} - (\varphi_{sa}/UL)) / (T_{tb} - T_{am} - (\varphi_{sa}/UL)) = \cosh(mx) / \cosh(m(P-De/2))$$

Le flux transféré (par unité de longueur selon Ox) à la base de la plaque en $y = P-De/2$

Vers un tube s'écrit :

$$dQ_{p-tb} = -\lambda_p \delta \left. \frac{dt}{dx} \right|_{x=(P-D)/2} = \left(\frac{1}{m} \right) [T_{tb} - T_{am} - \frac{Q_{sa}}{UL}] \tan h \left[\frac{m(P-De)}{2} \right] \quad (\text{III.32})$$

La partie de la plaque comprise entre $y = 0$ et $y = P - De/2$ joue le rôle d'ailette de chauffage par rapport au tube. Si toute cette ailette était à la température uniforme T_{tb} , le flux transféré de l'ailette au tube s'écrirait :

$$dQ_{p-tbmax} = [Q_{sa} - U_L(T_{tb} - T_{am}) \frac{(P - De)}{2}] \quad (III.33)$$

Le rendement de l'ailette est défini par : [2]

$$F = \frac{dQ_{p-tb}}{dQ_{p-tbmax}} = \frac{\tanh\left[\frac{m(P - De)}{2}\right]}{\frac{m(P - De)}{2}} \quad (III.34)$$

III.9.3- couverture transparente :

Le bilan d'énergie dans la couverture transparente est :

$$Q_{st} = Q_{ab,c} + Q_{c \rightarrow a} - Q_{c,a} - Q_{r,a} \quad (III.35)$$

$Q_{ab,c}$: Le flux de chaleur absorbé ; (W).

$Q_{c \rightarrow a}$: Le flux de chaleur transféré à l'absorbeur ; (W).

$Q_{c,a}$: Le flux de chaleur échangé par convection avec l'atmosphère ; (W) .

$Q_{r,a}$: Le flux de chaleur échangé par rayonnant avec l'atmosphère ; (W) .

$Q_{st,c}$: La chaleur stockée ; (W).

a) Flux de chaleur absorbé:

Le flux de chaleur absorbé a pour expression :

$$Q_{ab,c} = \alpha_{\infty} G_t S_c \quad (III.36)$$

Avec :

α_{∞} : Coefficient d'absorption de la couverture transparente du rayonnement solaire.

S_c : Surface de couverture transparente ; (m²).

b) Le flux de chaleur transféré par l'absorbeur :

Ce flux de chaleur transféré est égale à :

$$Q_{c \rightarrow a} = S_c (h_{r,a \rightarrow c} + h_{c,a \rightarrow c}) (T_{pm} - T_{cm}) \quad (III.37)$$

c) Le flux de chaleur échangé par convection avec l'atmosphère :

Ce flux de chaleur échangé est égale à :

$$Q_{c,a} = h_{c,a} S_c (T_{cm} - T_a) \quad (\text{III.38})$$

Avec :

$$h_{c,a} = 5.67 + 3.86 \cdot V$$

$h_{c,a}$: Convection de la couverture transparente vers l'atmosphère ;(W/m².K).

V : La vitesse du vent ;(m/(s)).

T_a : La température ambiante ;(k).

d) Le flux de chaleur échangé par rayonnement avec l'atmosphère :

Le flux de chaleur égale a :

$$Q_{r,a} = h_{c,r} S_c (T_{cm} - T_c) \quad (\text{III.39})$$

$h_{c,r}$: Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre la couverture transparente et le ciel, et il est donné par la relation suivante :

$$h_{c,r} = \varepsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_{cm} + T_c) (T_{cm}^2 + T_c^2) \quad (\text{III.40})$$

Et T_c : température du ciel.

$$T_c = 0.0522 \cdot T_a^{1.5}$$

e) Flux de chaleur stocké:

La puissance thermique stockée est représenté par la puissance qui provoque l'augmentation de la température de plaque absorbante, elle est donnée par :

$$Q_{st} = M_c \cdot C_{p_c} \frac{dT_{cm}}{dT} \quad (\text{III.41})$$

Ou :

M_c : La masse de la couverture en (Kg) .

C_{p_c} : La capacité calorifique à pression constante de couverture ; (J/kg.k).

f) L'équation finale de la couverture transparente

L'équation finale du bilan thermique au niveau de la couverture transparente s'écrit alors :

$$M_c \cdot C_{p_c} \frac{dT_{cm}}{dt} = \alpha_{\infty} \cdot G_1 \cdot S_c - (h_{r,a \rightarrow c} + h_{c,a \rightarrow c}) \cdot (T_{pm} - T_{cm}) S_c - h_{c,r} S_{pa} (T_{cm} - T_c) - h_{c,a} S_c (T_{cm} - T_a) \quad (III.42)$$

III.9.4- fluide caloporteur :

Bilan énergétique du fluide caloporteur est :

$$Q_{st \cdot f} = Q_{a \rightarrow pa} - Q_p - Q_u \quad (III.43)$$

$Q_{a \rightarrow pa}$: La chaleur transférée par la plaque absorbante ;(W).

Q_u : La chaleur utile ;(W).

Q_p : Les pertes thermiques ;(W).

$Q_{st \cdot f}$: Le flux stocké par le fluide caloporteur ;(W).

a) L'énergie utile:

Ce flux de chaleur égale a :

$$Q_u = \dot{m}_{fc} c_{p_{fc}} (T_{fs} - T_{fe}) \quad (III.44)$$

$T_{fs} - T_{fe}$: La température d'entrée et de sortie du capteur ;(K).

\dot{m}_{fc} : Le débit du fluide caloporteur ;(kg/s).

$c_{p_{fc}}$: La capacité calorifique de fluide caloporteur ;(W).

b) L'énergie transférée par la plaque absorbante :

Ce flux de chaleur est égale a :

$$Q_{a \rightarrow pa} = h_{a \rightarrow c} S_{pa} (T_{pm} - T_{fm}) \quad (III.45)$$

c) L'énergie perdue :

Ce flux de chaleur est égal a :

$$Q_p = K_p S_{pa} (T_{fm} - T_a) \quad (III.46)$$

Avec :

$$K_p = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_{is}}{\lambda_{is}} + \frac{1}{h_e}}$$

Avec :

h_i, h_e : Coefficient de convection.

d) L'énergie stockée:

Ce flux de chaleur est égal :

$$Q_{st \cdot f} = m_{fc} \cdot c_{pfc} \frac{dT_{fm}}{dt} \quad (\text{III.47})$$

m_{fc} : La masse du fluide caloporteur se trouve dans le capteur ;(kg).

e) L'équation finale du fluide caloporteur :

L'équation finale du bilan thermique relative au fluide caloporteur s'écrit alors :

$$M_{fc} \cdot c_{pfc} \frac{dT_{fm}}{dt} = h_{a \rightarrow e} S_{pa} (T_{pm} - T_{fm}) - m_{fc} c_{pfc} (T_{fs} - T_{fe}) - K_p S_{pa} (T_{fm} - T_a) \quad (\text{III.48})$$

III.9.5- le réservoir :

Le bilan énergétique dans le réservoir est :

$$Q_{st \cdot r} = Q_u - Q_b - Q_{per} \quad (\text{III.49})$$

Avec :

$Q_{st \cdot r}$: Le flux de chaleur stocké dans le réservoir de stockage ;(W).

Q_u : Le flux utile ;(W).

Q_b : Le flux utilisé dans le bouilleur ;(W).

Q_{per} : Le flux perdu à travers la paroi de réservoir ;(W).

a) Le flux de chaleur stocké dans le réservoir de stockage :

Ce flux de chaleur est égal :

$$Q_{st \cdot f} = m_{fr} \cdot C_{pfr} \frac{dT_{fr}}{dt} \quad (\text{III.50})$$

Avec :

T_{fr} : La température dans le réservoir ;(k).

m_{fr} : La masse du fluide caloporteur dans le réservoir ;(kg).

Cp_{fr} : La capacité calorifique de fluide dans le réservoir ;(J/kg.k).

b) Le flux utile:

Ce flux de chaleur est égal :

$$Q_u = m'_{fc} \cdot Cp_{fc} \cdot (T_{fs} - T_{fe}) \quad (III.51)$$

c) Le flux perdu à travers la paroi de réservoir :

$$Q_{per} = k_{pr} \cdot S_r (T_{fr} - T_{fa}) \quad (III.52)$$

Avec :

k_{pr} : Le coefficient de transfert thermique à travers la paroi de réservoir;(W/m².K).

S_r : La surface extérieure du réservoir ;(m²) .

d) Equation finale du réservoir

$$m_{fr} \cdot Cp_{fr} \frac{dT_{fr}}{dt} = m'_{fc} \cdot Cp_{fc} \cdot (T_{fs} - T_{fe}) - Q_b - k_{pr} \cdot S_r \cdot (T_{fr} - T_{fa}) \quad [19] \quad (III.53)$$

III.9.6- installation du panneau solaire sur un toit plan :

Joindre les lames (A) et (E) pour les bases à 1 et 3 capteurs et les lames (A) et (C) pour les bases à 2 capteurs, de manière à obtenir un cadre parallélogramme, comme indiqué sur

(Figure 11).

Tordre les 4 lames (D) comme sur les schémas. Soulever les tuiles et placer les lames tordues (D) sur les poutres en bois ou béton de la toiture. Visser très fortement le cadre parallélogramme (A) +(C) ou (E) sur les lames (D). Mettre à niveau le cadre et visser fortement les lames (D) sur les poutres de la toiture comme indiqué sur la (Figure 11)

Pour la sécurité de la mise en place de la base, utiliser aussi les lanières métalliques.

Soulever les tuiles et passer les lanières.

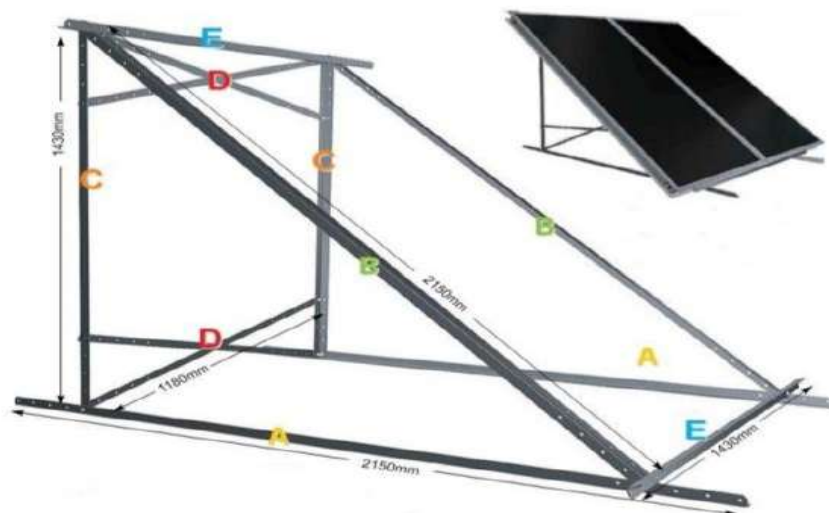


Figure III-11 : Schéma de montage de la base de support



Figure III- 12 : Raccord de la base de support.

a. Orientation de panneau :

Latitude Géographique	Distance entre capteur/obstacle
0°- 25°	$X = 1,0 \times Y$
25°- 35°	$X = 1,5 \times Y$
35°- 45°	$X = 2,0 \times Y$
45°- 50°	$X = 2,5 \times Y$
50° +	$X = 3,0 \times Y$

Tableau III-01 : Valeur d'Orientation de panneau.

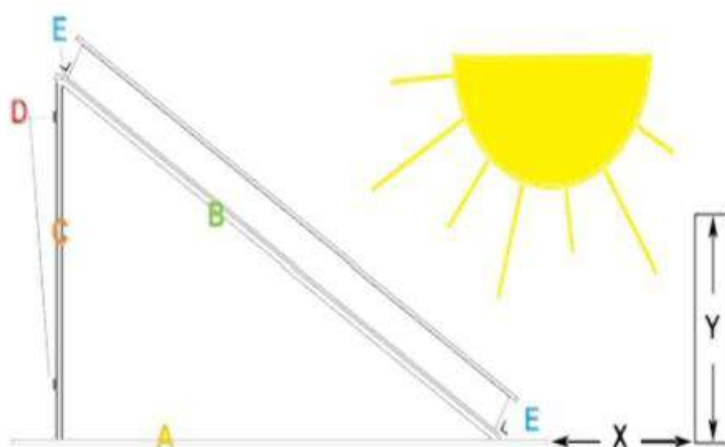


Figure III-13 : Schéma d'Orientation de panneau.

III.10- Les impacts sur l'environnement :

Du point de vue environnemental, l'énergie solaire a l'avantage de ne générer pratiquement aucun impact durant son utilisation. En fait, la grande majorité des impacts sont

Produits avant ou après l'utilisation des technologies solaires. Les installations solaires sont moins dangereuses pour la faune que les éoliennes.

Généralement, la longue durée de vie et la nature de l'équipement requis pour l'exploitation de l'énergie solaire génère des impacts relativement environnementaux Faible par rapport aux autres énergies renouvelables. Cependant, l'un des principaux avantages de l'exploitation de l'énergie solaire La possibilité de remplacer les sources d'énergie traditionnelles, combustibles fossiles ou électricité. Dans le premier cas, l'utilisation de techniques Les systèmes solaires réduiront directement la production de polluants atmosphériques Participer, entre autres, au changement climatique et à la formation de smog. Elle Il maintiendra également des sources non énergétiques Renouvelable, La réduction de la demande en électricité rendue possible grâce à l'utilisation de l'énergie solaire rendrait également moins nécessaire la construction de nouvelles centrales thermiques ou hydroélectriques. Les milieux naturels du Québec pourraient ainsi être préservés. [99]

III.11- Les aspects économiques :

Les technologies solaires présentent de nombreux avantages du point de vue Économique. Premièrement, le rayonnement solaire est totalement gratuit.L'ange Par conséquent, les installations solaires sont protégées contre l'excès d'électricité ou de biogaz Biomasse (bois ou granulés). En outre, l'utilisation passive ou active du rayonnement L'énergie solaire réduit considérablement les coûts de chauffage et d'eau chaude. Oui Acheter des maisons solaires bon marché coûte plus cher que les maisons traditionnel Plus l'industrie solaire est développée, plus les coûts d'achat et d'installation sont faibles La maintenance du système diminuera.

Economiquement, l'électricité est produite à partir de panneaux Une centrale photovoltaïque ou thermodynamique n'est tout simplement pas rentable Québec. Il forme l'hydroélectricité et l'énergie éolienne ainsi que la biomasse Des investissements certainement meilleurs, du moins pour l'instant. [100]

III.12- Les enjeux sociaux :

En ce qui a trait à l'aspect social, les applications de l'énergie solaire demeurent en grande partie méconnues par la population qui croit souvent, et à tort, que cette source d'énergie n'est pas exploitable en climat froid. Plusieurs personnes profitent déjà, peut-être de façon inconsciente, du confort qu'apporte une habitation solaire passive et d'une meilleure luminosité créée par la lumière naturelle. Il y a donc un certain scepticisme à surmonter, mais ce serait possible grâce à des outils d'éducation et de sensibilisation. À l'heure actuelle, l'acceptabilité sociale des technologies solaires est difficilement mesurable, compte tenu du nombre peu élevé d'installations dans la province. L'aspect esthétique des panneaux pourrait possiblement être un sujet de discorde. Par contre, leur faible entretien et l'absence de bruit les avantagent par rapport aux petites éoliennes.

Contrairement à la combustion de la biomasse, qui produit des polluants atmosphériques, l'exploitation de l'énergie solaire n'a aucun impact sur la santé. Aussi, l'éclairage naturel crée un meilleur environnement de travail et engendre une réponse positive de l'organisme. [101]

III.13- Conclusion :

Le chauffage solaire présente de nombreux atouts, les panneaux solaires permettent d'utiliser l'énergie solaire qui est gratuite et inépuisable pour chauffer sa maison, son eau chaude sanitaire et sa piscine. Elle peut se révéler plus complexe à aborder, mais lorsqu'elle est bien dimensionnée, la durée de vie de votre installation peut se révéler très intéressante. De plus, le chauffage solaire est l'investissement qui présentera un retour sur investissement imbattable comparé au chauffe-eau solaire et aux panneaux solaires photovoltaïques. Un chauffage est considéré comme bon s'il satisfait aux demandes techniques et économiques suivantes:

- La température résultant du local chauffé doit être uniforme que possible et doit atteindre 19 à 20 °C

Chapitre IV:
Résultat et interprétations

IV- Introduction :

Dans ce chapitre nous avons utilisé logiciel Get Solar pour faire une étude d'un système solaire combiné, Au cours de cette étude on va modéliser et examiner les résultats de la simulation ce basant sur deux bilans : bilan énergétique et bilan écologique.

IV.1- Présentation générale du logiciel GET Solar :

GET SOLAR est un logiciel hautement performant de production d'eau chaude sanitaire ou de chauffage par l'énergie solaire. Le logiciel GETSOLAR traite les circuits qui peuvent contenir:

- ❖ Un deux ou trois capteur solaire plan à très haute performance énergétique.
- ❖ l'accumulateur sanitaire pour l'eau chaude sanitaire ECS (avec le fluide solaire pré à double échangeur, d'une capacité de 200 litres dans le cas d'un seul capteur, 300, 400 ou 500 litres dans le cas de deux ou trois capteurs.
- ❖ la centrale solaire, avec régulateur, quatre sondes, pompe volumétrique et by-pass.
- ❖ l'accumulateur solaire pour l'eau chaude sanitaire ECS, à double échangeur, d'une Capacité de 300, 400, 500 ou 800 litres (selon les besoins d'eau chaude sanitaire ECS).

L'installation solaire est complétée par une source de chaleur d'appoint pour les périodes les Moins favorables : chaudière (fossile ou électrique). On peut aussi, s'il y a lieu et moyennant une adaptation des caractéristiques hydrauliques, alimenter un échangeur de piscine directement intégré à la centrale solaire.

IV.2- Les étapes de simulation de GET-SOLAR :

La simulation est faite, pour faire un dimensionnement précis d'une installation solaire pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS), ce logiciel permet de calculer les différentes puissances, le rendement du capteur, le taux de couverture, les différentes températures de l'eau dans la cuve du stockage au cours d'une année, et permet aussi de calculer les émissions de CO2 en kg, pour cela, plusieurs données sont à connaître :

1- les données techniques du capteur solaire :

- Le type de capteur.
- L'orientation et l'inclinaison du capteur.
- Les données climatologiques d'un endroit défini.
- L'irradiation de chaque mois.
- La surface de capteur.
- La température moyenne de chaque mois.

2- Les données techniques de l'installation système solaire combiné (ECS) :

- Type de l'installation : échangeur chauffe-eau.
- Le volume du ballon du stockage.
- Les températures d'entrée et de sortie.
- Le type du chauffage d'appoint. [102]

IV.3- le stockage d'énergie:

Le stockage de l'énergie est l'action qui consiste à placer une quantité d'énergie en un lieu donné pour permettre son utilisation ultérieure. Par extension, le terme « stockage d'énergie » est souvent employé pour désigner le stockage de matière qui contient cette énergie. La maîtrise du stockage de l'énergie est particulièrement importante pour valoriser les énergies alternatives, telles que l'éolien ou le solaire, sûres et renouvelables, mais par nature intermittentes. [103]

IV.3.1- Le stockage sous forme d'énergie électrique :

✓ Condensateurs :

Les condensateurs et super-condensateurs sont des technologies matures du stockage de l'énergie électrique. Ils sont constitués de deux armatures conductrices séparées par un diélectrique et capables de stocker des charges électriques opposées. Cependant, comme les supraconducteurs, ils permettent une réponse en puissance relativement importante mais pour de courtes périodes. Leur application reste donc essentiellement mobile, puisque leur large gamme de capacité leur permet une intégration dans tous les appareils électroniques. Dans le

Cadre du stockage de l'énergie, leur utilisation se limiterait à l'amélioration de la stabilité du réseau et à la qualité de la puissance délivrée. [104]

IV.3.2- Le stockage sous forme d'énergie thermique :

Le stockage thermique intervient sous différentes formes dans notre vie quotidienne : la capacité des murs d'une maison ou d'une plaque de cheminée à absorber et restituer la chaleur, ou encore les ballons d'eau chaude résidentiels en sont de bons exemples. Deux types

De stockage de chaleur peuvent être distingués : le stockage par chaleur sensible, et le stockage par chaleur latente. (Figure IV.1). [105]

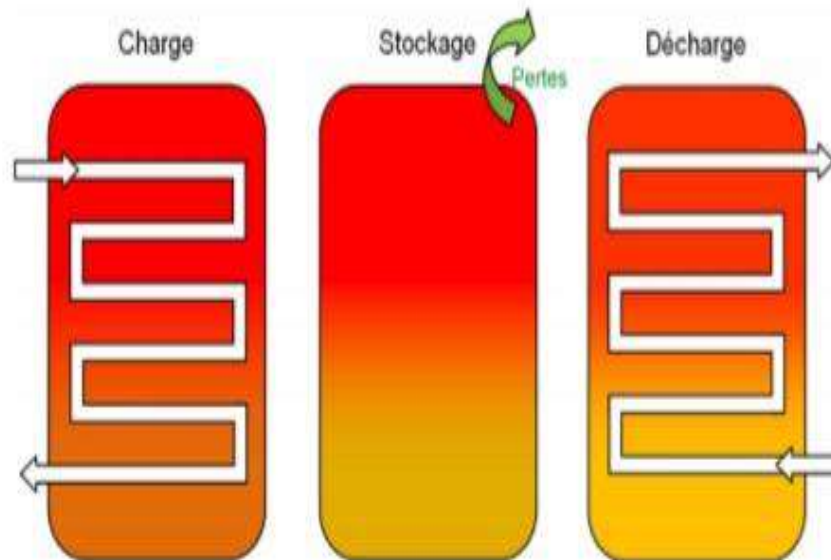


Figure IV.1 : Les trois étapes du stockage de l'énergie thermique.

IV4- La conversion thermique :

Un corps exposé au RS voit sa température s'équilibrer sous l'action conjuguée:

1- De l'énergie solaire absorbée (d'autant plus élevée que le coefficient d'absorption, $0 < \alpha < 1$, est élevé).

2- Des pertes thermiques par rayonnement (IR du corps vers l'environnement) d'autant plus élevée que le coefficient d'émission sont élevé

3- Des pertes thermiques par convection (proportionnelle à l'écart de Température entre le corps et l'environnement)

Lors de la conception d'un capteur solaire plan à air, il convient donc de limiter les pertes par convection et rayonnement : un vitrage placé en avant de l'absorbeur permet d'agir sur ces deux points. [106]

IV.5- Paramètres du système (système solaire combiné) :

Les paramètres de « système solaire combiné » sont les suivants (figures IV.2) : les paramètres de températures (eau froide 10°C, eau chaude 55°C, maximale 85°C), une consommation de 7.33kwh/jour, pertes de circulation 0.85 kWh/jour et le total 2986 KWh/année.

paramètres de température	
T° eau froide	10 °C
T° eau chaude	55 °C
T° maximum	85 °C

consommation	
ecs	7.33 kWh/jour
pertes de circulation	0.85 kWh/jour
total	2986 kWh/année

profil de consommation: maison 40-20-40

Figure IV.2 : Paramètres de température et de consommation pour le système combiné

IV.5.1- Par stockage :

Le profile de consommation V1 (part d'eau de chauffage) 200 litre et V2 (part de l'eau chaud sanitaire) 750 litre .avec une conductivité thermique 0.040 w (mk).Et le perte de chaleur à 65 c° est 95 w donc d'efficacité énergétique classe en B

paramètres du système -> stockage

variante | paramètres ecs, consommation, réservoir(s) | **stockage** | circulation | chauffage solaire | energie conventionnel

réservoir combiné

volume d'eau de chauffage litres

volume ecs litres

volume total litres

surface d'échangeur m²

échangeur de chaleur m²

épaisseur d'isolation

enveloppe mm

couvercle mm

par terre mm

valeurs de matière

conductivité thermique W/(m K) ...

facteur dépendant de la ten

perte de chaleur par connexion

facteur W/K

perte de chaleur

à 65 °C W

classe d'efficacité énergétique **B**

environs

température moyenne °C

Figure IV.3 : paramètre de volume et de perte de chaleur pour SSC par stockage

IV.5 .2- Par circulation :

Les paramètres du système de distribution d'eau chaud sanitaire sont les suivants (figure IV .4) : perte de chaleur 100 w ,0.850 kWh/j (spécifique : 5 w/m , 8.5h/j) , la différence de température 5 k et débit volumique 0.3 litres /min (50.0°)

variante	paramètres ecs, consommation, réservoir(s)	stockage	circulation	chauffage solaire	énergie conventionnelle
système de distribution d'ecs					
longueur	<input type="text" value="20"/>	m			
perte de chaleur spécifique	<input type="text" value="5,0"/>	W/m	<input type="text" value="8,5"/>	h/jour	
perte de chaleur	<input type="text" value="100,0"/>	W	<input type="text" value="0,850"/>	kWh/jour	
différence de température	<input type="text" value="5,0"/>	K			
débit volumique	<input type="text" value="0,3"/>	litres/min (50,0°C)			

Figure IV.4 : paramètre du système de distribution (ecs) pour SSC par circulation

IV.5.3- l'énergie conventionnelle :

L'énergie conventionnelle pour le chauffage d'appoint pour le système combiné étudié utilisé une chaudière gaz avec bruleur atmosphérique (gaz naturel H) (figure IV.5) dont la consommation est de 10.420 kwh par unité et une émission du gaz carbonique de 1.90 kg de CO2 par unité.

paramètres du système -> energie conventionnelle

variante | paramètres ecs, consommation, réservoir(s) | stockage | circulation | chauffage solaire | energie conventionnelle

énergie conventionnelle pour chauffage d'appoint

source calorifique

description	carburant / énergie
Chaudière standard fioul	fuel
Chaudière au fioul basse température	fuel
Chaudière fioul à condensation	fuel
Chaudière gaz avec bruleur atmosphérique	gaz naturel H
Chaudière gaz avec bruleur à air soufflé	gaz naturel H
Chaudière gaz à condensation	gaz naturel H
Chaudière gaz avec bruleur atmosphérique	gaz naturel L
Chaudière gaz avec bruleur à air soufflé	gaz naturel L

carburant / énergie	gaz naturel H	puissance	9,5	kW	⏮
unité	m3	efficacité	91,0	%	⏮
kWh par unité	10,420	pertes de chaleur	6,2	W/K	⏮
CO2 / unité	1,900 kg	durée minimale	0	min	⏮

Figure IV .5 : Paramètres de la chaudière à gaz naturel avec brûleur atmosphérique pour SSC étudié (énergie conventionnelle pour chauffage d'appoint).

IV.5.4- Le chauffage solaire :

Le chauffage nécessite une chaleur 12000 kWh/année, une surface utile 200 m², les Paramètres du circuit de chauffage pour le système solaire combiné étudié sont le suivante : puissance nominale 7.2 kW, les températures (extérieure de base -12 c°; de départ 55 c° ; de retour 40 c° ; limite saison de chauffe 14 c°) . Les pertes de chaleur utilisée pour chauffage : stockage, générateur de chaleur, circulation égales 10%.

paramètres du système -> chauffage solaire

variante | paramètres ecs, consommation, réservoir(s) | stockage | circulation | chauffage solaire | energie conventionnelle

besoin en chauffage

Q chauffage kWh/année

bâtiment
surface utile m²

paramètres du circuit de chauffage

puis. nominale kW

temp. extérieure de base °C

temp. de départ °C

temp. de retour °C

T° limit. saison de chauff. °C

pertes de chaleur utilisée pour chauffage

stockage %

générateur de chaleur %

circulation %

Figure IV.6 : les Paramètres du circuit de chauffage pour le système solaire combiné

IV.6- Paramètre du capteur et le circuit solaire :

Les Paramètres du capteur sont essentiellement (figure IV.7) pour le système solaire combiné étudié : la surface brute 12.60 m² pour 6 capteurs, une inclinaison de 45°, et azimut 0° (capteur orienté plein sud) .

paramètres capteur -> paramètres

type de capteur | paramètres | circuit solaire | support

capteur

surface brute m²

surface m²
(6 capteurs)

inclinaison °

azimut °

capteurs Est-Ouest



Figure IV.7 : paramètre du capteur

Les Paramètres du circuit solaire pour le système solaire combiné étudié sont données par (figure IV.8) : des tubes en cuivre de (22×1) , une longueur de tuyau de retour à l'intérieur 13 m , à l'extérieur 1 m et de tuyau d'alimentation à l'intérieur 13 m , à l'extérieur 1m , assurant un débit volumique de 480 l/h et un pompe du circuit solaire 45 watt.

Figure IV.8 : paramètre du circuit solaire

IV.7- modélisation et les résultats de la simulation :

IV.7.1- l'irradiation sur les capteurs, puissance du système solaire, température capteur et la température de la chaudière :

Le graphe de (la figure IV.9) suivante présente les résultats concernant l'irradiation solaire, puissance du système solaire, température du capteur et en fin la température de la chaudière d'appoint. La figure comporte deux échelles une échelle de température (à gauche) et une échelle de puissance (à droite). On distingue trois grande zones une zone entre minuit et 09 h du matin, une deuxième zone entre 09h et 16h30 et une troisième zone entre 16h30 et 19h.

L'irradiation solaire, puissance du système solaire et la température du capteur est importante entre la tranche de temps comprise entre 09h et 16h30. Les variations ont une allure d'une cloche ou le maximum des valeurs de ces trois courbes est entre le midi solaire où l'irradiation

Solaire est maximale. Au delà de cette période, ces trois grandeurs commencent à diminuer au fur et à mesure que l'irradiation solaire diminue. Concernant la température de la chaudière d'appoint, sa variation est inverse à la variation des trois grandeurs précédentes: importante entre les tranches de temps comprises entre minuit et 09 h du matin, et la tranche de temps comprise entre 16h30 et 19h. Pendant la tranche de temps comprise entre 09h et 16h30 la chaudière ne fournit pas beaucoup d'énergie puisque cette dernière vient directement du système solaire.

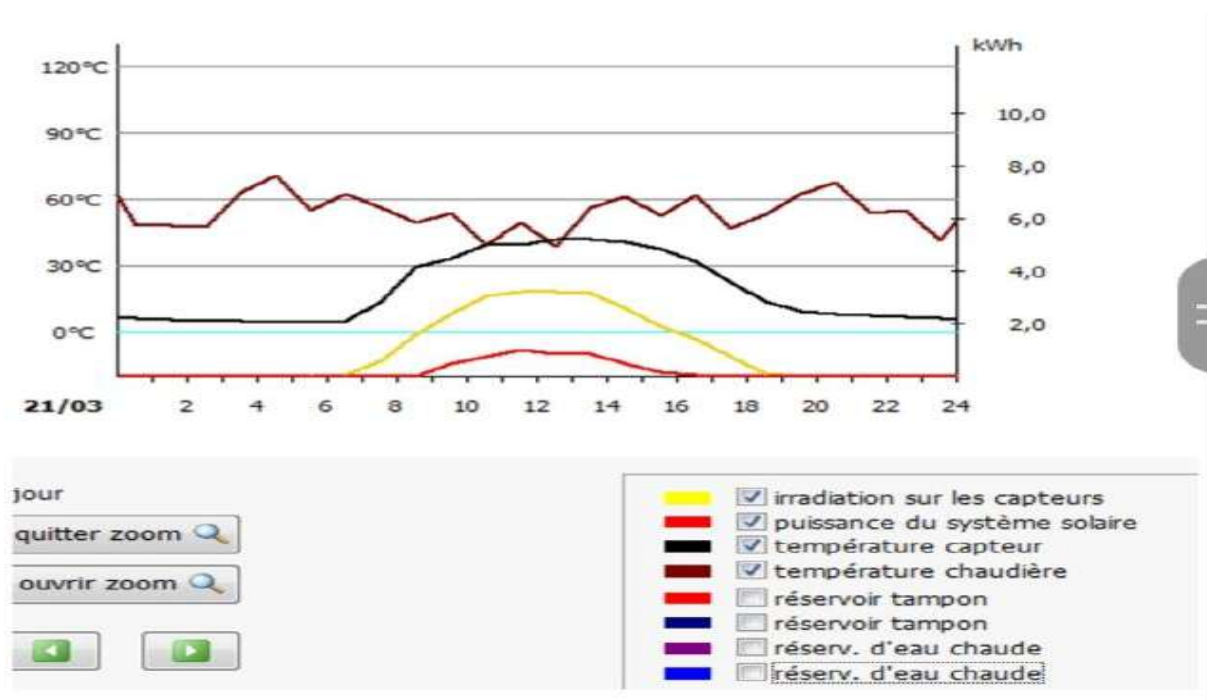


Figure IV.9 : l'irradiation sur les capteurs, puissance du système solaire, température capteur et la température de la chaudière pour le jour 21/03

La figure IV. 10 présentent les résultats concernant l'irradiation solaire, puissance du système solaire, température du capteur et la température de la chaudière au cours d'une trois mois On distingue trois grande zones une zone entre 11h et 16 h 30 et une troisième zone entre 16h 30 et 20h 30.

L'irradiation solaire, puissance du système solaire et la températures du capteur est importante entre la tranche de temps comprise entre 11h et 16h 30 le maximum des valeurs de ces trois courbes est entre le midi solaire au-delà de cette période, ces trois grandeurs commences à diminuer .concernant la température de la chaudière d'appoint, sa variation est inverse au variation des trois grandeurs précédents: fixé au cours de la tranche de temps comprise entre minuit et 20h 30 la chaudière ne fournie pas aucun d'énergie

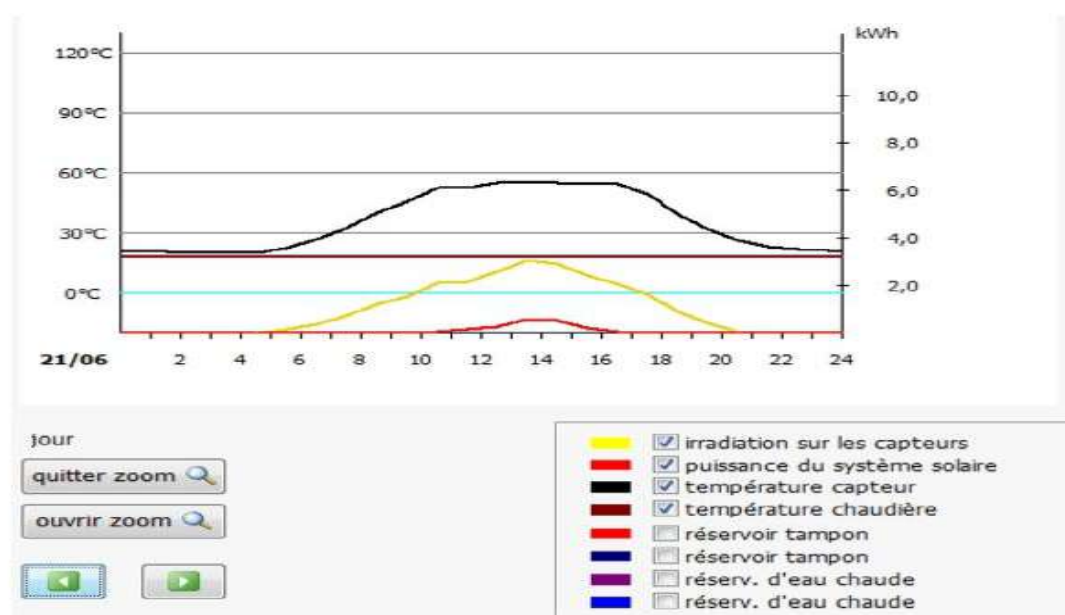


Figure IV.10 : l'irradiation sur les capteurs, puissance du système solaire, température capteur et la température de la chaudière pour le jour 21/06

Le graphe de la figure IV. 11 suivante présentent les résultats concernant l'irradiation solaire, puissance du système solaire, température du capteur et la température de chaudière pendant trois mois .On distingue trois grande zones une zone entre minuit et 9h du matin, une deuxième zone entre 9h et 17h 30 et une troisième zone entre 17h 30 et 18h 30.

L'irradiation solaire, puissance du système solaire et la température du capteur est importante entre la tranche de temps comprise entre 9h et 17h 30 le maximum des valeurs de ces trois courbes est entre le midi solaire au-delà de cette période, ces trois grandeurs commences à diminuer .au fur et a mesure que l'irradiation solaire diminue. Concernant la température de la

Chaudière d'appoint, sa variation est inverse à la variation des trois grandeurs précédentes : importante dans tout la tranche de temps comprise entre minuit et 18 h 30 la chaudière fournit beaucoup d'énergie dans toute la journée.

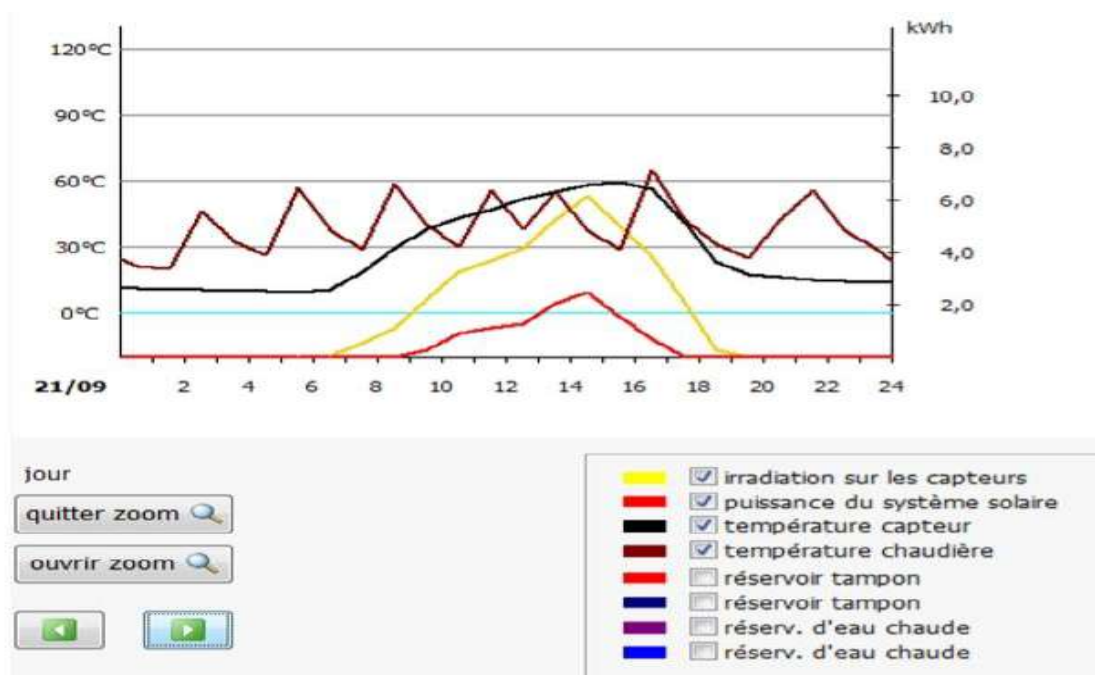


Figure IV.11 : l'irradiation sur les capteurs, puissance du système solaire, température capteur et la température de la chaudière pour le jour 21/09

En le dernier jour .l'irradiation solaire, puissance du système solaire et la température du capteur est plus stable dans toute la journée, concernant la température de la chaudière d'appoint, sa variation est inverse à la variation de trois grandeurs précédent: importante dans tout la tranche de temps comprise entre minuit et 15h .la chaudière fournit très peu d'énergie.

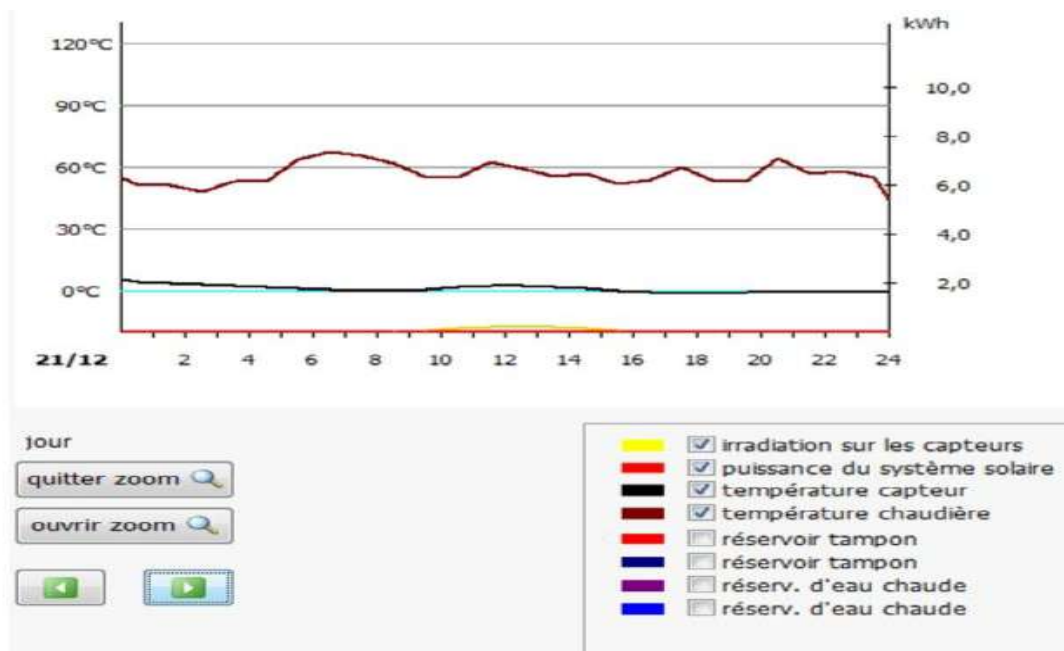


Figure IV.12 : l'irradiation sur les capteurs, puissance du système solaire, température capteur et la température de la chaudière pour le jour 21/012

IV.7.2- Bilan énergétique :

Le tableau (IV .1) donnant l'apport solaire, l'irradiation sur le capteur, énergie de secours ecs, taux de couverture et le rendement de chaque mois avec un rapport spécifique annuel du capteur de valeur 296 kWh/m² (surface brute).

bilan énergétique bilan écologique tracé graphique courbes							
projet:		Ini 1					
site:	Köln		latitude: 51,0°				
capteur:	12,00 m ²		GetSolar capteur plan				
caractéristique:	eta0 = 0,770		a1 = 3,500 W/(m ² ·K)		a2 = 0,0200 W/(m ² ·K ²)		
angle du support:	45,0°		azimut: 0,0°				
type de système:	combiné avec réserve ecs intégrée (4)						
circuit solaire:	échangeur de chaleur solaire simple						
réservoir:	200 + 750 litres (eau de chauffage et ecs)						
température:	max. 85°C						
consommation:	7,33 kWh/jour = 140 litres/jour de 10°C à 55°C						
	0,85 kWh/jour circulation, temp. moyenne de retour: 50 °C						
	12,00 MWh/année besoin en chauffage						
chauffage solaire:	à T° extérieure < 14°C		circuit de chauffage: 55/40°C, 7 kW à -12°C				
mois	apport solaire [kWh]	chauff. solaire [kWh]	irradiation capteurs [kWh]	énergie de secours ecs. [kWh]	taux couverture [%]	rendement [%]	
janvier:	159	144	562	2628	5	6	28
février:	186	166	656	2182	6	8	28
mars:	353	304	1128	1596	15	19	31
avril:	533	399	1629	588	39	54	33
mai:	435	165	1735	106	69	100	25
juin:	382	0	1723	11	97	0	22
juillet:	396	0	1786	15	96	0	22
août:	385	0	1534	21	98	0	25
septembre:	333	94	1210	149	66	97	27
octobre:	329	253	975	910	23	30	34
novembre:	146	126	510	1803	6	8	29
décembre:	97	88	379	2699	3	3	26
total:	3733	1740	13828	12708	47	14	27
taux de couverture pour eau chaude et chauffage: 22,7%							
rapport spécifique annuel du capteur: 296 kWh/m ² (surface bruf)							

Tableau IV. 1: bilan énergétique du SSC

IV.7.3- Bilan écologique :

Le Tableau (IV.2) donnant l'apport solaire, économie d'énergie en kWh et m³ et le économie de CO2 en kg avec un coefficient de performance de valeur 67 et la consommation électrique de la pompe solaire 56,1 kWh.

bilan énergétique		bilan écologique		tracé graphique		courbes	
site:	Köln	latitude:	51,0°				
surface aperture:	12,00 m²	GetSolar capteur plan					
angle du support:	45,0°	azimut:	0,0°				
type de système:	combiné avec réserve ecs intégrée (4)						
consommation:	7,33 kWh/jour = 140 litres/jour de 10°C à 55°C						
	0,85 kWh/jour circulation, temp. moyenne de retour: 50 °C						
	12,00 MWh/année besoin en chauffage						
chauffage solaire:	à T° extérieure < 14°C			circuit de chauffage: 55/40°C, 7 kW à -12°C			
énergie conv.:	Chaudière gaz avec bruleur atmosphérique						
max. efficacité:	91%						
efficacité du combustible:	84%						
mois	apport solaire [kWh]	économie d'énergie [kWh]	[m²]	économie de CO2 [kg]			
janvier:	159	170	16	31			
février:	186	188	18	34			
mars:	353	368	35	67			
avril:	533	566	54	103			
mai:	435	473	45	86			
juin:	382	435	42	79			
juillet:	396	452	43	82			
août:	385	439	42	80			
septembre:	333	408	39	74			
octobre:	329	347	33	63			
novembre:	146	159	15	29			
décembre:	97	104	10	19			
total:	3733	4109	394	749			
réduction proportionnelle de l'énergie:		21,4%					
consommation électrique de la pompe solaire:				56,1 kWh			
coefficient de performance:		67					

Tableau IV. 2 : bilan écologique du SSC

IV.7.4- Tracé graphique :

Le figure(IV.13) représentant graphiquement les valeurs annuelles de taux de couverture d'eau chaud (une moyenne de 44%).le rendement (une moyenne de 23 %) et le taux de couverture totale (f SAV) (une moyenne de 22 %) durant l'année.

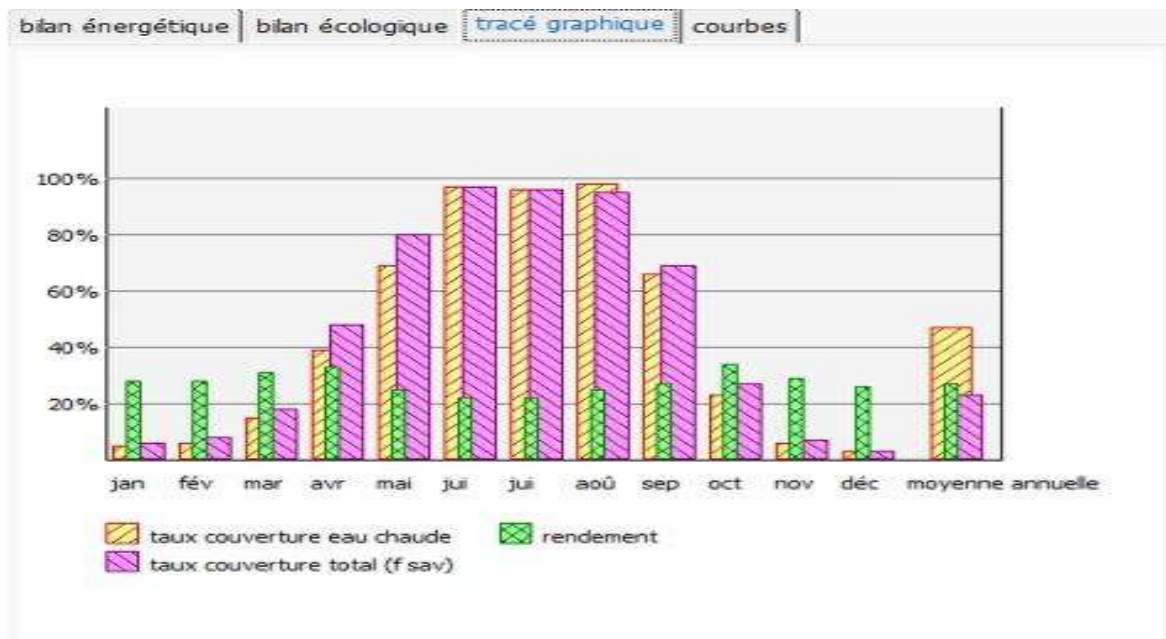


Figure IV. 13 : Représentation graphique de taux de couverture et le rendement(SSC).



Conclusion générale

Conclusion générale

L'utilisation de l'énergie solaire est un des axes prioritaires de recherche en ALGERIE qui dispose d'un gisement solaire important, dans ce cadre notre étude d'installation de chauffe-eau solaire sur les toitures est faite. L'étude faite dans ce travail, 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. Les chauffe eaux solaires connaissent un grand essor actuellement, car ce genre d'installation est très rentable et leur durée de vie dépasse les 25 ans, elle évite l'émission des gaz à effet de serre, préserve les énergies conventionnelles, en plein hiver, l'installation de production d'eau chaude solaire n'a besoin que de quelque degré pour chauffer l'eau qui est déjà préchauffée dans les capteurs

Au cours de cette étude, nous avons essayé de mettre en évidence l'intérêt de l'exploitation de l'énergie solaire et l'efficacité des installations solaires thermiques individuelles pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire.

Dans ce travail on a essayé de traiter deux aspects:

Le premier aspect porte sur l'étude théorique des capteurs solaires thermiques et les chauffe eau solaire, leurs fonctionnements et leurs différents types.

Le deuxième, concerne l'étude de simulation des performances thermiques des installations de production d'eau chaude

Solaire collective qui est faite par le logiciel GET Solar 1. Il ressort de ces résultats ce qui suit :

- La puissance du système solaire varie en fonction de la température aux cours d'une année. La valeur moyenne de cette puissance est de 7.2 kW

- Le rendement correspondant est 23% pour ce système durant une année bien que le coefficient de performance de valeur 67 en ce qui concerne l'évolution de la température du capteur au cours d'une année, la valeur moyenne est de 18 C°.

Enfin nous espérons que ce travail qui a demandé beaucoup d'efforts et de temps donnera au consommateur, une idée sur les chauffe-eau solaires et nous souhaitons que les futures promotions le trouvent utile et efficace.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

[1]: **C. Vauge**. Introduction générale sur les différentes énergies renouvelables, Techniques de l'Ingénieur, B263. (1982).

[2]: **Bernard**. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).

[3]: https://www.univ-saida.dz/butec/doc_num.php?explnum_id=588

[4]: energie-renouvelable.tv.htm

[5]: [PDF] agence internationale de l'énergie (Aie-en anglais. International energy agency-TEA)

[6]: <https://youmatter.world/fr/definition/energies-renouvelables-definition/>

[7]: **A. labouret , M.villoz**,<< Energie solaire photovoltaïque>>,Edition le Moniteur, 3ème édition 2006.

[8]: despace.univ-tlemecen.dz

[9]: <http://www.usherbrooke.ca>

[10]: <https://www.greenwatt.fr/le-solaire-thermodynamique/>

[11]: <http://docinsa.insa-lyon.fr/these/2004/chain/05-chapitre-1.pdf>.

[12]: **Ademe**, eau chaude solaire collective : bonnes pratiques, novembre 2005,38p.

[13]: **C. voyant**, prédiction de séries temporelles de rayonnement solaire global et de production d'énergie photovoltaïque à partir de réseaux de neurones artificiels, thèse doctorat, université de Corse-Pascal Paoli, France, (2011).

[14]: **S. Jiang, C. Grey, Wouter Poortinga and Chris Tweed**, Winter Indoor Air Temperature and Relative Humidity in Hard-To-Heat, Hard-To-Treat Houses in Wales: Results from a Household Monitoring Study, WSA Working Paper Series, (2015),Paper Number: 03

[15]: « Guide des Energies Renouvelables », Ministère de l'Energie et des Mines, Edition 2007

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

[17]: <http://inesp.solaire.free.fr/solpv/page1.html>

[18]: Traore, Transferts de chaleur et de masse dans les parois des bâtiments à ossature bois, Thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré – Nancy Université en Mécanique et Energétique 2011.

[19]: **G. Lefebvre**, Comportement thermique dynamique des bâtiments : simulation et analyse, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique, B 2 041-1.

[20]: <https://www.fournisseur-energie.com/types-panneaux-solaires/>

[21]: <https://www.maison-travaux.fr/maison-travaux/renovation-par-type/energies-renouvelables-renovation-par-type/panneau-solaire-energies-renouvelables-renovation-par-type/energie-solaire-differents-types-de-panneaux-solaires-196031.html#panneaux-solaires-thermique-a-air-196033>

[22]: <https://www.lepanneausolaire.net/les-differents-types-capteurs.php>

[23]: <https://www.energie douce.com/content/16-conseils-faq-panneaux-capteurs-solaires-thermiques-a-eau>

[24]: Univ.ency-education.com

[25]: <http://tpedurable.e-monsite.com/pages/les-differents-types-de-capteurs-thermiques.html>

[26]: <https://www.montjoiesolaire.be/fr/solaire-thermique/les-differents-types-de-capteurs-solaires>

[27]: <http://www.chauffagesolaire.net/capteur-solaire.html>

[28]: <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-fonctionnement-d-une-centrale-solaire-thermique>

[29]: https://www.ecosources.info/dossiers/Centrale_solaire_thermique_capteurs_cylindro-paraboliques

- [30]: **Sylvain Quoilin**, les centrales solaires à concentration. Faculté des sciences Appliquées, Université de Liège (Mai 2007)
- [31]: **Les Centrales Solaires à Concentration**, Quoilin Sylvain Ingénieur Civil Electromécanicien/Energéticien Université de Liège, Mai 2007
- [32]: https://www.ecosources.info/dossiers/Centrale_solaire_capteur_parabolique
- [33]: **Jean Jacques Bezian, Arezki Bounaceur, Alain De ryck, Mouna El hafi**, Un nouveau concept de centrale solaire thermodynamique base sur un récepteur a lit fluidise. Energ. Ren : 13ème journées internationales de thermique. Publié dans "JITH 2007
- [34]: <https://energieplus-lesite.be/techniques/eau-chaude-sanitaire11/differents-preparateurs/capteur-solaire-a-eau-chaude-d1/>
- [35]: CLEFS CEA - N° 44 - HIVER 2000-2001
- [36]: Licence Pro ER2E- 2017 - Cours Photovoltaïque M. SENECHAL
- [37]: <https://www.maison-travaux.fr/maison-travaux/renovation-par-type/energies-renouvelables-renovation-par-type/panneau-solaire-energies-renouvelables-renovation-par-type/energie-solaire-differents-types-de-panneaux-solaires-196031.html#les-panneaux-solaires-photovoltaiques-sans-silicium-en-couche-mince-cis-196037>
- [38]: [www.l'energie tout compris.fr](http://www.l'energie-tout-compris.fr)
- [39]: http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Capteur_solaire_plan
- [40]: <https://www.novethic.fr/lexique/detail/solaire-thermique.html>
- [41]: <http://unblogsurlaterre.com/actualites-environnement-sur-la-terre/avantages-et-inconvenients-energie-solaire-011/>
- [42]: <https://www.novethic.fr/lexique/detail/solaire-thermique.html>
- [43]: Desertc industry initiative et sonalgaz conviennet de coopérer étroitement dans le domaine des energies renouvelables
- [44]: Présentation New energy Algeria, site officiel de la NEA, consulté de 18/07/2012

[45]: Energies renouvelables : des panneaux solaires made en Algerie disponibles sur le marché, la rédaction. ELMoudjhid,15février 2012.

[46]: **D, K, Edwards**. Capteurs solaires, Edition SCM, paris. (1979).

[47]: **Ch, Perrin de Brichambaut; C, Vauge**. Le gisement solaire, Technique et Documentation, Paris. (1982).

[48] : **P, H**, Communay. Héliothermique : le gisement solaire, méthodes et calculs, Groupe de Recherche et d'Édition, France. (2002).

[49]: <http://www.fournisseur-energie.com/types-panneaux-solaires/>

[50] :http://www.guides.be/article/les_capteurs_solaires_fonctionnement_et_technologie.html

[51]:<https://www.encyclopedie-energie.org/solaire-thermique-les-technologies-et-leurs-trajectoires/>

[52] : <https://lenergie-solaire.net/energie-solaire-thermique/basse-temperature>

[53]:<https://www.promotelec.com/espaces/images/document/cpt-label-performance-production-d-eau-chaude-sanitaire.pdf>

[54]:<https://www.lenergiesoutcompris.fr/eco-gestes/la-temperature-de-mon-eau-chaude-est-reglee-entre-55-et-60degc>

[55]: <https://www.chauffage-info.be/chauffage-basse-temperature>

[56]: THIBAUT VITEE : Le froid solaire par dessiccation appliqué au bâtiment : Proposition d'une stratégie de régulation du système – INSA Lyon – thèse de doctorat

[57]: <https://lenergie-solaire.net/energie-solaire-thermique/temperature-moyenne>

[58]: American Society of Heating Refrigeration, and Air Conditioning Engineers;. 2010. ASHRAE Standard 93-2010, Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors.

[59]: **ABDELKARIM BOURAS**, « Etude et conception d'un convertisseur solaire pour la Production d'eau chaude sanitaire »mémoire. SPÉCIALITÉ : ENERGETIQUE, Option : PHOTOTHERMIQUE.UNIVERSITE MENTOURICONSTANTINE, 2007.

[60]: <https://lenergie-solaire.net/energie-solaire-thermique/haute-temperature>

[61]: **DUMONT Olivier et MÉLOTTE Nicolas**, «Etude de concentrateur solaire pour le projet de microcentrale», Projet «PEYRESQ», Université de Liège 2010/2011.

[62]: **François Veynandt**, “Cogénération héliothermodynamique avec concentrateur linéaire de Fresnel: modélisation de l’ensemble du procédé,” Université de Toulouse, 2011.

[63]: **Lemrani H.**, Modélisation énergétique des moteurs Stirling, Thèse de Doctorat, École des Mines

[64] : **S. S. Sahoo, S. Singh, and R. Banerjee**, “Analysis of heat losses from a trapezoidal cavity used for Linear Fresnel Reflector system,” *Solar Energy*, vol. 86, no. 5, pp. 1313 – 1322, 2012.

[65] : **J. P. Petitjean and H. V. Poorten**, “Les revêtements sélectifs et leur rôle dans L’amélioration des performances des collecteurs solaires,” *Surface Technology*, vol. 11, no. 4, pp. 229 – 258, 1980.

[66]: <https://news.dualsun.com/technologie-solaire/surchauffe-panneau-solaire/>

[67] : **H. Oussama and B. Amine Ahmed**, “Dimensionnement d ’ un Chauffe-eau Solaire,” UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2017.

[68]: **O. Si-Youcef M** , “Etude expérimentale de capteur solaire a air, le séchage de la figue,” .2005

[69]: www.solairethermique.fr.

[70]: www.lepanneausolaire.net (consulté le 13/04/2019).

[71]: <https://www.mon-chauffe-eau-solaire.com/tag/composants-chauffe-eau-solaire/>

[72]: https://www.xpair.com/lexique/definition/capteur_solaire.htm

[73] : **Y. MAIGNE, J-P. CAUSSE, M. CLAVERIE, B. EQUER**. “les perspectives de l’énergie solaire en FRANCE”. Commission « Energie et changement climatique » Groupe de travail « Energie solaire » Juillet 2008.

[74]: https://www.xpair.com/lexique/definition/ballon_de_stockage.htm

[75]: www.wattswater.fr (consulté le 02/05/2019).

[76]: <https://www.rocdacier.com/cours-de-tuyauterie-industrielle/>

[77]: <https://www.climamaison.com/lexique/fluide-caloporteur.htm>

[78]: <https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/chauffe-eau-solaire/fonctionnement-chauffe-eau-solaire/>

[79]: **J. R. Vaillant**, Utilisation et promesses de l'énergie solaire, Edition Eyrolle, 1976.

[80]: **A. Sfeir, G. Guarracino**, Ingénierie des systèmes solaires, Technique et Documentation, Paris, 1981

[81]: <https://www.chauffe-eau-solaire.info/>

[82]: conseil thermique. Site web : www.conseils-thermiques.org consulté mai 2018

[83]: la Maison écologique N°42 – Déc. 2007 [https://maison.seigele.com/wp-content/media/pub_0801_maison Ecologique_42.jpg](https://maison.seigele.com/wp-content/media/pub_0801_maison_Ecologique_42.jpg)

[84]: chauffage. Site web : <https://fr.m.wikipedia.org> consulté en mai 2018

[85]: technologiecollage.weebly.com

[86]: Muriel Tardieu Alaphilippe. La plateforme expérimentale de l'IUT de Pau Conversion Thermodynamique de l'énergie solaire, Recherche d'un nouveau procédé de conversion Thermodynamique de l'énergie solaire en vue de son application à la cogénération de petite puissance. 2007.07 PAU U 03036.

[87]: **S. Saadi**, Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire Plan, Mémoire de Magister en physique ; UMC, 2010.

[88]: **A. Degionanni**. Techniques de l'ingénieur, conduction, BE8200. (1981).

[89]: **M, E, A, Bekkouche**. Modélisation du comportement thermique de quelques Dispositifs solaires; thèse de doctorat, Université de Tlemcen. (2009).

- [90]: **J, P, Petit.** Techniques de l'ingénieur, notions de transferts thermiques par Convection, A1540. (1979).
- [91]: **J, A, Duffie; W, A, Beckman.** Solar engineering of thermal processes, John Wiley and Sons. (1980)
- [92]: chauffage. Site web : <https://fr.m.wikipedia.org> consulté en mai 2018
- [93]: **M. Tissot.** L'énergie solaire thermique et photovoltaïque, Les guides de l'habitat durable.
- [94]: <https://conseils-thermiques.org/contenu/chauffage-solaire.php>
- [95]: **J. A. Duffie, W. A. Beckman.** Solar engineering of thermal processes, John Wiley and Sons. (1980)
- [96]: **A. Guedira, A. Benallou.** Procédure de qualification des capteurs plans sous Ensoleillement naturel au Maroc, Revue des Energies Renouvelables, journées de thermique, p 79-84. (2001).
- [97]: **Muriel Tardieu Alaphilippe.** La plateforme expérimentale de l'IUT de Pau Conversion thermodynamique de l'énergie solaire, Recherche d'un nouveau procédé de conversion thermodynamique de l'énergie solaire en vue de son application à la cogénération de petite puissance.2007.07 PAU U 03036.
- [98]: **S. . Heliokmi, "Systeme a cerclation forcée manuel technique," megasun, no. 1**
- [99]: <http://www.aee.gouv.qc.ca/innovation-technologique/chauffe-eau-solaires-domestiques>
- [100]: <http://www.aee.gouv.qc.ca/mon-habitation/novoclimat/>
- [101]: http://www.stat.gouv.qc.ca/jeunesse/ress_naturelle/residence.htm
- [102]: https://www.bosch-climate.us/files/GetSolarOverviewPresentationBOSCH_US.pdf
- [103]: **M. PIERRE PARDO**opardo-partie- PDF, Développement d'un procédé de stockage d'énergie thermique haute température ; le lundi 9 décembre 2013

[104]: Marie DUQUESNE « résolution et réduction d'un modèle non linéaire de stockage D'énergie par adsorption sur des zéolithes » l'université de bordeaux 2013.

[105]: A. Gil, M. Medrano, I. Martorell, A. Lázaro, P. Dolado, B. Zalba, et L. F. Cabeza, « State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation. Part 1—Concepts, materials and modellization », *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no 1, p. 31-55, janv. 2010.

[106]: Mémoire HENAOUI Mustapha ETUDE DE L' AERODYNAMIQUE INTERNE DES BARRETTES PERFOREES PLACEES DANS UN CAPTEUR SOLAIRE PLAN A AIR (2014°)



Résumé

Résumé

Le chauffage solaire présente de nombreux atouts, les panneaux solaires permettent d'utiliser l'énergie solaire qui est gratuite et inépuisable pour chauffer sa maison, son eau chaude sanitaire et sa piscine.

L'objectif de ce travail est la recherche bibliographique sur l'énergie solaire qui est liée pour le chauffage d'eau et les capteurs solaires thermiques avec l'installation de chauffage pour plusieurs types, et pour la simulation on fera une étude système solaire combiné (par stockage, par circulation, l'énergie conventionnelle, Le chauffage solaire).

Durant cette étude on va examiner deux types de résultats en se basant sur deux bilans différents, bilan énergétique, bilan écologique en utilisant le logiciel nommé GET SOLAR.

Mots clefs : énergie solaire, capteur solaire thermique, l'installation de chauffage, système solaire combiné, le chauffage solaire, l'énergie conventionnelle, GET SOLAR.

Abstract

Solar heating has many advantages; solar panels allow you to use solar energy, which is free and inexhaustible, to heat your house, its domestic hot water and its swimming pool.

The objective of this work is bibliographic research on solar energy which is linked for water heating. And solar thermal collectors which the heating installation for several types, and for the simulation to make a combined solar system study (by storage, by circulation, conventional energy, solar heating).

During this study we will examine two types of results based on two different balances, energy balance, ecological balances using the software called GET SOLAR.

Key words: solar energy, solar thermal collector, heating installation, combined solar system, solar heating, conventional energy, GET SOLAR.

ملخص

يقدم التسخين بالطاقة الشمسية العديد من المزايا ، حيث تتيح الألواح الشمسية استخدام الطاقة الشمسية التي هي مجانية و لا تنضب لتدفئة منزلك و مياهه المنزلية الساخنة و المسبح الخاص به

الهدف من هذا العمل هو البحث المكتبي حول الطاقة الشمسية مع ربط لتسخين المياه و مستشعرات شمسية حرارية ربط التدفئة لمختلف أنواع و للمحاكاة لإجراء دراسة نظام الشمسي المشترك(عن طريق التخزين و الدوران و الطاقة التقليدية التدفئة الشمسية)

خلال هذه الدراسة قمنا بفحص نوعين من النتائج بناء علي حصيلتين مختلفتين: محصلة طاوية، محصلة بيئة باستخدام البرنامج المسمى GET SOLAR.

الكلمات المفتاحية : الطاقة الشمسية، مستشعرات شمسية حرارية، ربط التدفئة ، نظام الشمسي المشترك، التدفئة الشمسية، الطاقة التقليدية، GET SOLAR.