



REPUBLIQUE ALGERIENNE
DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE Ministère de
l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Centre Universitaire BELHADJ Bouchaib A.T



Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Energétique

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

Thème :

**Etude d'un système de chauffage complexe par
la voie solaire.**

Présenté par :

- BOUAZZA Fatima Yasmine.
- BENZAMA Nana Mounira Romaiassa Wafaa.

Devant le jury:

Président :

Dr BOUAFIA M (MCA)

Examineurs:

Dr BELHAMIANI M (MCB)

Encadreur : Dr SARI HASSOUN Zakaria (MCB)

Co-Encadreur : Pr ALIANE Khaled (Professeur)

Soutenu le : 04-06-2018

Année universitaire : 2017/2018

Remerciement

En préambule à ce mémoire nous remercions ALLAH pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné pour terminer ce modeste travail.

A nos parents merci pour nous avoir encouragés et permis d'entreprendre car sans eux, nous n'en serons pas là.

Tous Merci et respect à nos encadreurs Mr. SARI HASSOUN Zakaria et Mr. ALJANE Khaled qui nous a aidé et dirigé et orienté vers le succès.

On exprime également nos gratitude à notre maître de stage Mr. MDJAHED Abderrahmane pour sa confiance manifeste, ses précieux conseils et sa foi dans l'action.

Nous voudrions aussi remercier tous les membres de jury avec nos profondes gratitude de l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail et d'avoir accepté de le juger. Nous tenons aussi à remercier nos enseignants de départements de génie mécanique et tous les enseignants du centre universitaire BELHADJ Bouchaib.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance et gratitude particulièrement à nos familles Enfin, merci à tous nos proches.

Dédicaces

A nos chers parents :

A qui on doit ce qu'on est, A nos mères.

A nos pères qui sont nos modèles.

Que Dieu leur préserve longue vie et bonne santé.

*A nos sœurs Amel, Houda, Souad, Kawter, Maroua, Wissem,
Djihad, Ikram*

A nos frère Moussaab, Ilyes, Samir, Yahya, Adel.

*A nos oncles, tantes, et grands-parents
(que Le Bon Dieu les accueille dans son paradis)*

A mes chers Neveux

Amani, Zaki, Oussama, Yassine, sohaib, Waelo, Amina, Ahmed.

A nos proches Ilyes et Youcef.

A nos amis surtout Mokhtaria & Adel

*À tous nos amis d'enfance et du parcours scolaire et
universitaire.*

A tous nos enseignants de l'école primaire jusqu'à l'université.

.A ceux qui ont cru en nous

Je dédie ce modeste ouvrage.

Sommaire :

Nomenclature	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	1
 <i>Chapitre I : aperçue sur l'énergie solaire.</i> 	
Introduction.....	3
I.1. L'énergie renouvelable.....	3
I.2. Les différents types d'énergies renouvelables.....	4
I.2.1. Énergie solaire.....	4
I.2.1.1 Energies solaires thermique.....	5
I.2.1.2 Énergie photovoltaïque	6
I.2.2. Énergie éolienne.....	7
I.2.3. Énergie hydraulique.....	8
a) Énergie des vagues	9
b) Énergie marémotrice.....	9
c) Énergie hydrolienne.....	9
d) Énergie thermique des mers.....	9
I.2.4. Énergie osmotique.....	9
I.2.5. Biomasse.....	10
I.2.6. Énergie géothermique.....	10
I.2.7. L'énergie aérothermique.....	11
I.2.8. La récupération d'eau de pluie.....	12
I.3. Les avantages des énergies renouvelables.....	12

I.4 .Nuisances et pollutions.....	13
I.5. Le gisement solaire.....	14
I.5.1. Le soleil.....	14
I.5.2. Présentation générale.....	14
I.5.3. Caractéristiques du soleil.....	14
I.5.4. Constitution du soleil.....	15
I.5.5. Evolution du soleil.....	16
I.5.6. Le rayonnement solaire.....	17
a) Le rayonnement solaire direct.....	19
b) Le rayonnement solaire diffus.....	20
c) Le rayonnement global.....	21
I.5.7. Calcul de la position du soleil.....	21
I.5.7.1. Les paramètres de position.....	21
a) Les coordonnées géographiques.....	21
b) Les coordonnées célestes horizontales.....	21
c) Les coordonnées célestes horaires.....	22
I.5.7.2. Les paramètres de temps.....	23
I.6. L'énergie solaire.....	23
I.6.1. Origine.....	23
I.6.2.Caractères particuliers.....	24
I.6.3.Captation.....	24
a) L'énergie solaire thermique.....	24
b) L'énergie solaire thermodynamique.....	24
c) L'énergie solaire photovoltaïque.....	25
I.7. Le gisement solaire.....	25
I.8. Les différents types de capteur solaire.....	27
I.8.1.Capteurs à concentration.....	27

a) Les éléments constitutifs du capteur à concentration.....	28
b) Centrales thermiques solaires.....	28
c) Descriptive techniques.....	29
I.8.1.1. Capteur cylindro-parabolique.....	30
I.8.1.2. Capteur parabolique.....	30
I.8.2. Les capteurs à tubes sous vides.....	31
a) Descriptifs techniques.....	31
I.8.3. Capteurs solaires plan (non concentration).....	32
a) Les éléments constitutifs du capteur plan.....	33
b) Descriptifs techniques.....	34
I.8.4. Les capteurs solaires plans non vitrés.....	35
a) Avantage des capteurs solaires non vitrés.....	36
b) Application des capteurs solaires non-vitrés.....	36
Conclusion.....	37

Chapitre II : Système de chauffage.

Introduction.....	38
II.1. Définition du chauffage.....	38
II.2. Sources d'énergie.....	39
II.3. Eléments constitutif d'une installation thermique.....	39
• une source de chaleur.....	39
• un émetteur de chaleur.....	39
• un système de stockage de la chaleur (ou bien Cuve de stockage).....	40
• un ou plusieurs systèmes de transport de la chaleur (fluide caloporteur).....	40
• La tuyauterie.....	40
II.4. Isolation thermique.....	41

• Matériaux d'isolation.....	41
II.4.1. Différents types d'isolations.....	43
a) Isolation thermique de la toiture.....	43
b) Isolation thermique des murs.....	43
c) Isolation thermique des ouvertures.....	43
II.5. Les différents systèmes de chauffage.....	44
II.5.1. Chauffage individuel ou collectif.....	44
a) Chauffage individuel.....	44
b) Chauffage collectif.....	44
II.5.2. Chauffage centrale ou décentralisé.....	44
a) Chauffage central.....	44
b) Chauffage décentralisé ou chauffage local.....	44
II.5.3. Système de chauffage solaire.....	44
II.5.3.1. Système de chauffage solaire de l'air.....	44
II.5.3.2. Les chauffe-eau solaires.....	45
a) Les chauffe-eau monobloc.....	46
b) Les chauffe-eau à thermosiphon.....	47
c) Les chauffe-eau à circulation forcée.....	47
II.5.3.3. Système solaire combiné (SSC).....	48
a) Le système solaire combiné avec stockage de l'eau de chauffage en ballon.....	49
b) Le plancher solaire direct (PSD).....	50
II.6. La définition et position du système d'appoint.....	50
II.6.1. Appoint dans le stockage.....	51
II.6.2. Appoint en série avec le stockage.....	51
II.6.3. Appoint en parallèle avec le stock.....	51

II.6.4. Appoint complètement séparé.....	51
II.7. Etude thermique d'une installation de chauffage solaire.....	52
II.7.1. Bilan d'énergie d'un capteur solaire.....	52
II.7.1.1. L'Absorbeur.....	52
a) Le flux transféré à la couverture transparente.....	53
b) Le flux thermique transféré à l'eau.....	54
c) Le flux de chaleur stocké.....	55
d) Le flux de chaleur absorbé.....	55
e) L'équation finale du bilan thermique au niveau de l'absorbeur.....	55
II.7.1.2. La couverture transparente.....	55
a) Flux de chaleur absorbé.....	56
b) Le flux de chaleur transféré par l'absorbeur.....	56
c) Le flux de chaleur échangé par convection avec l'atmosphère.....	56
d) Le flux de chaleur échangé par rayonnement avec l'atmosphère.....	57
e) Flux de chaleur stocké.....	57
f) L'équation finale de la couverture transparente.....	57
II.7.1.3. Bilan énergétique du fluide caloporteur.....	57
a) L'énergie utile.....	58
b) L'énergie transférée par la plaque absorbante.....	58
c) L'énergie perdue.....	58
d) L'énergie stockée.....	59
e) L'équation finale du fluide caloporteur.....	59
II.7.1.3. Le bilan énergétique dans le réservoir.....	59
a) Le flux de chaleur stocké dans le réservoir de stockage.....	59
b) Le flux utile.....	60
c) Le flux perdu à travers la paroi de réservoir.....	60
d) Equation finale du réservoir.....	60

II.8. Contrôle d'humidité.....	60
II.9. Aspect économique	62
II.10Aspect écologique.....	62
Conclusion.....	63

Chapitre III : Simulation et interprétation.

Introduction.....	64
III.1.Présentation générale du logiciel GET SOLAR.....	64
III.2:Les étapes de simulation de GET-SOLAR.....	64
III.3.Paramètres du système « système solaire combiné ».....	65
III.4.1 : Paramètres du capteur et le circuit solaire.....	67
III.4.2 : Le profil de la consommation.....	69
III.5 : Etude de l'installation solaire.....	70
III.6 : Dépouillement des résultats de la simulation.....	70
III.6.1 : Taux de couverture et rendement.....	70
III.6.2.Bilan énergétique.....	71
III.6.3.Bilan écologique.....	72
III.6.4.Bilan du chauffage solaire de la piscine.....	74
III.6.5.Tracé Graphique.....	75
III.6.6.Irradiation sur le capteur.....	75
III.6.6. Puissance du système solaire.....	76
III.6.6.1 :L'irradiation sur le capteur et la puissance du système.....	76
III.6.7.Température du capteur.....	77
III.6.8 : Températures du réservoir.....	77

III.6.8.1 : Température haute du réservoir.....	77
III.6.8.2 : Température basse du réservoir.....	78
III.6.8.5 : Température haut et bas des réservoirs.....	78
Conclusion générale.....	79
Annexe.....	80
Références bibliographiques.....	84
Résumé.....	87

Nomenclature :

<i>Symbole</i>	<i>Désignation</i>	<i>Unité</i>
a, b	Coefficients traduisant les troubles atmosphériques.	-----
α_{∞}	Coefficient d'absorption de la couverture transparente du rayonnement solaire.	-----
α_{pa}	Coefficient d'absorption de la paroi absorbante des rayonnements solaires	-----
α_{∞}	Coefficient d'absorption de la couverture transparente du rayonnement solaire	-----
C^*	La constante solaire	$\left(\frac{W}{m^2}\right)$
C_0^*	Est la valeur moyenne de la constante solaire actuellement retenue 1353	$\left(\frac{W}{m^2}\right)$
C_p	La capacité calorifique	$(J/kg.K)$
e_v	L'espace entre la couverture et l'absorbeur	(m)
g	Gravité	$(m.s^{-2})$
G_t^*	Éclairement (densité de flux) solaire incident sur le capteur	(W/m^2)
h	Le coefficient de transfert thermique par convection	$(W/m^2.K)$
K_{pr}	Le coefficient de transfert thermique à travers la paroi de réservoir	$(W/m^2.K)$
M	La masse	(kg)
P	Pression atmosphérique du lieu	(Pa)
Q	Flux de chaleur transfère à l'eau	(W)
Ra	Le nombre de Rayleigh	-----
S	La surface	(m^2)
T	La température	(K)
ΔT	L'écart de température entre les deux plaque	(K)
T_a	La température ambiante	(K)
V	La vitesse du vent	(m/s)

Tableau d'indice :

A	Absorbeur
C	Couverture
E	Eau
St	Stocké
Ab	Absorbé
Pa	Plaque absorbante
M	Moyenne
R	Rayonnement
Fc	Fluide caloporteur
U	Utile
B	Bouilleur
Per	Perdu
Pt	Perte thermique
Pr	Paroi du réservoir
Fr	Fluide dans le réservoir

Lettres grecques

<i>Symbole</i>	<i>Désignation</i>	<i>Unité</i>
α	Coefficient d'absorption	-----
β	L'angle d'inclinaison des deux plans .	(degré).
β'	Coefficient de dilatation thermique (pour les gaz.	(K^{-1}) .
σ	Constante de Stephan-Boltzmann	$(W/m^2 . K^4)$
λ	Conductivité thermique	$(W/m . K)$
ε	L'émissivité	-----
τ	Coefficient de transmission	-----
μ	viscosité dynamique	$(pa . s)$

Liste des figures :

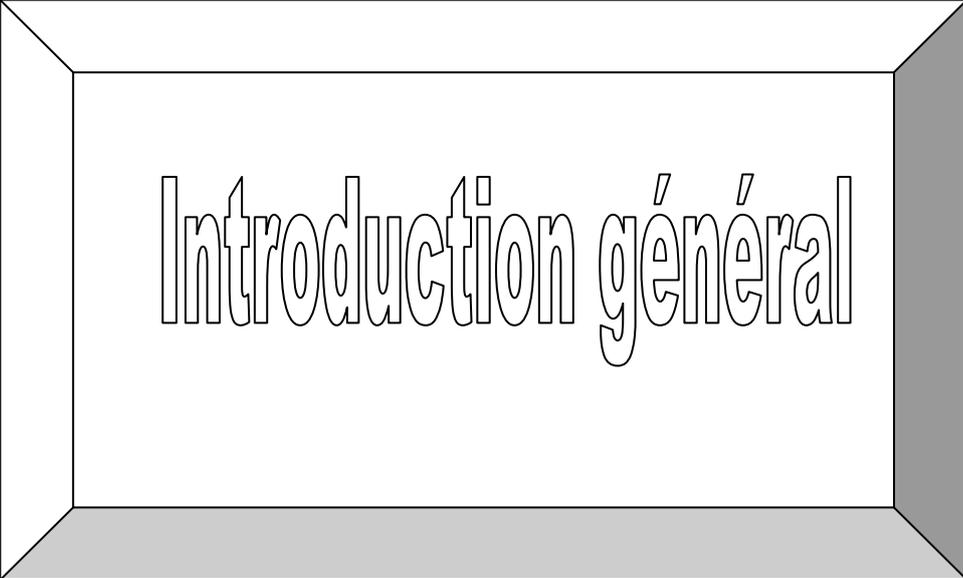
Figure I.1 : Exemple d'énergie renouvelable.....	4
Figure.1.2 : Spectre d'irradiation solaire sur terre.....	5
Figure I.3 : Chauffe-eau solaire	6
Figure I.4 : Moulin à vent.....	7
Figure I.5 : Moulin à eau.....	9
Figure. I.6.:Centre géothermique de Nesjavellir en Islande.....	11
Figure I.7 : Structure du soleil	16
Figure I.8 : Cycle de vie du soleil	17
Figure I.9 : Décomposition du spectre solaire	18
Figure I.10 : Variation mensuelle de la constante solaire	19
Figure I.11 : Les coordonnées célestes horizontales	22
Figure I.12 : Variation annuelle de la déclinaison du soleil	22
Figure I.13 : Carte du monde de l'enseilllement moyen annuelle.....	25
Figure I.14 : Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu.....	26
Figure I.15 : Répartition territoriale des stations météorologiques en Algérie	27
Figure I.16 : Les éléments constitutifs du capteur à concentration	28
Figure I.17 : description du fonctionnement du capteur a concentration.	29
Figure I.18 : Capteur cylindro-parabolique	30
Figure I.19 : Capteur parabolique	30
Figure I.20 : Les éléments constitutifs d'un tube sous-vide.....	31
Figure I.21 : Capteur a tube sous-vide.....	32
Figure I.22 : les éléments constitutifs du capteur plan.....	33
Figure I.23: capteur plan	34
Figure I .24 : capteur plan non-vitré.....	35

Figure I.25 : chauffage de l'eau d'une piscine par un capteur solaire plan non vitré.....	36
Figure II.1: schéma de principe d'une installation solaire thermique.....	41
Figure II.2: Capteur solaire chauffe-air.....	45
Figure II.3: Constituants du système de chauffage solaire de l'eau.....	46
Figure II.4: Chauffe eau solaire monobloc.....	46
Figure II.5: Système à thermosiphon.....	47
Figure II.6: Système à circulation forcée.....	48
Figure II.7: Constituants du système solaire combiné (en vert : le circuit où circule L'antigel; en jaune : le circuit où circule l'eau de chauffage sans antigel ; en rouge : le circuit d'eau chaude sanitaire).....	49
Figure II.8: Plancher solaire direct.....	50
Figure II.9: Les transferts thermiques dans le capteur plan.....	52
Figure III.1: paramètres de température et de consommation de réservoir pour les deux systèmes.....	65
Figure III.2 paramètres de température et le volume de la piscine.....	66
Figure III.3 : paramètres de la chaudière à gaz naturel avec brûleur atmosphérique pour les deux systèmes étudié (énergie conventionnelle pour chauffage d'appoint).....	66
Figure III.4 : Energie économisée par KWh solaire.....	67
Figure III.5: Paramètres du capteur.....	68
Figure III.6. : Paramètres du circuit solaire.....	69
Figure III.7: la consommation journalière ECS.....	69
Figure III.8: Schéma de l'installation du système solaire combiné.....	70
Figure III.9: Schéma de l'installation du système solaire combiné avec piscine.....	70
Figure III.10: Taux de couverture et le rendement pour une année(SSC).....	71
Figure III.11: Taux de couverture et le rendement pour une année (SSC +piscine).....	71

Figure III.12 : Représentation graphique de taux des couvertures et le rendement du bilan énergétique pour SSC.....	72
Figure III.13 : Représentation graphique de taux des couvertures et le rendement du bilan énergétique pour SSC+piscine.....	72
Figure III.14 : Représentation graphique d'économie d'énergie et le rendement du bilan énergétique pour SSC.....	74
Figure III.15 : Représentation graphique d'économie d'énergie et le rendement du bilan énergétique pour SSC + piscine.....	74
Figure III.16 : Représentation graphique de taux de couverture et le rendement(SSC).....	75
Figure III.17 : Représentation graphique de taux de couverture et le rendement (SSC+piscine).....	75
Figure III.18: Irradiation sur le capteur pour une année(SSC).....	75
Figure III.19: Irradiation sur le capteur pour une année (SSC+piscine).....	75
Figure III.20 Puissance du système solaire pour une année(SSC).....	76
Figure III.21 Puissance du système solaire pour une année (SSC+piscine).....	76
Figure III. 22: l'irradiation sur le capteur et la puissance du système(SSC).....	76
Figure III. 23: l'irradiation sur le capteur et la puissance du système (SSC+piscine).....	76
Figure III. 24: Température de capteur pour une année (SSC).....	77
Figure III. 25: Température de capteur pour une année. (SSC+piscine).....	77
Figure III.26: Température haut réservoir1 pour une année (SSC).....	77
Figure III.27 Température haut réservoir1 pour une année. (SSC+piscine).....	77
Figure III.28: Température bas réservoir1 pour une année(SSC).....	78
Figure III.29 Température bas réservoir1 pour une année (SSC + piscine).....	78
Figure III.30: Température haut réservoir 2 pour une année(SSC).....	78
Figure III.31 Température haut réservoir 2 pour une année (SSC + piscine).....	78
Figure 1.A. Un pyranomètre.....	80
Figure 2.A. Pyrhélioimètre.....	81

Liste des tableaux :

Tableau I.1. Caractéristiques principales du soleil.....	14
Tableau I.2. Répartition spectrale du rayonnement thermique.....	18
Tableau I.3. Valeurs des coefficients du trouble atmosphérique.....	19
Tableau I.4. La variation de la pression atmosphérique avec l'altitude.....	20
Tableau I.5. Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques.....	26
Tableau II.1. : Comparaison entre les caractéristiques de ces deux types de matériaux d'isolation.....	42
Tableau III.1: bilan énergétique de SSC.....	71
Tableau III.2: bilan énergétique du SSC + piscine.....	72
Tableau III.3: bilan écologique du SSC.....	73
Tableau III.4: bilan écologique du SSC + piscine.....	73
Tableau III.5: bilan du chauffage solaire de la piscine.....	74
Tableau 1.A. Les différentes stations de l'O.N.M.....	81



Introduction général

Introduction générale

L'augmentation brutale du prix du pétrole survenue en 1973, conduit l'homme à s'intéresser à d'autres sources d'énergie renouvelable, au premier rang desquelles figure l'énergie solaire. D'autre part, le réchauffement climatique causé par l'émission des gaz à effet de serre à conduit beaucoup de pays à s'intéresser aux énergies renouvelables.

Les énergies renouvelables constituent une source d'énergie inépuisable pour l'homme. Elles sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la lune (marée) et la terre (énergie géothermique).

L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil par son rayonnement, directement ou de manière diffusé à travers l'atmosphère. Sur Terre, l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau et du vent. Le règne végétal, dont dépend le règne animal, l'utilise également en la transformant en énergie chimique via la photosynthèse. A l'exception de l'énergie nucléaire, de la géothermie et de l'énergie marémotrice, l'énergie solaire est à l'origine de toutes les énergies sur Terre.

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.

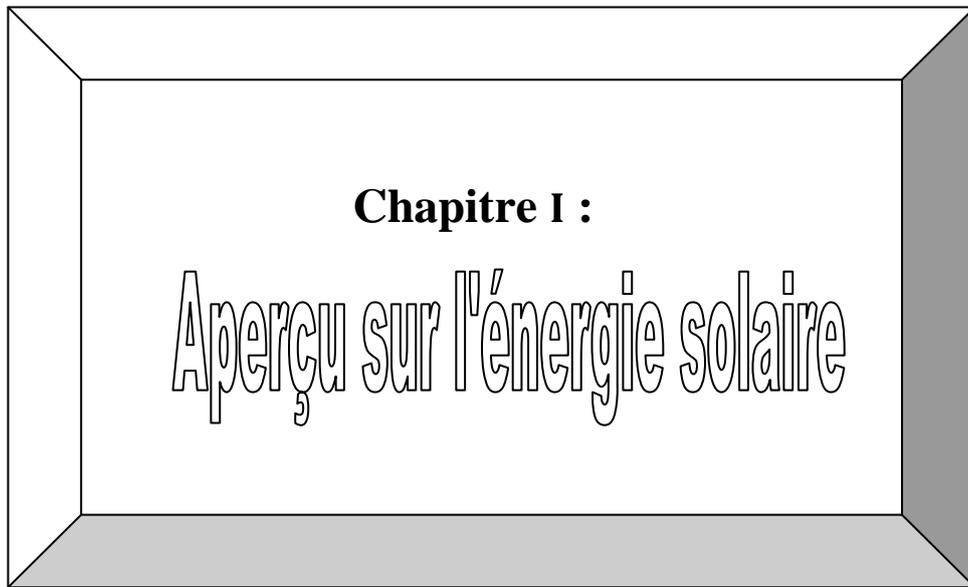
Pour le chauffage d'habitation, il est possible d'installer un chauffe-eau solaire, ou un chauffage solaire, il s'agit de capteurs vitrés installés le plus souvent sur la toiture, dans lesquels circule un liquide caloporteur réchauffer par le rayonnement solaire, qui transmet ensuite la chaleur à un chauffe-eau où à un plancher chauffant basse température. Le rendement d'un panneau solaire thermique est trois fois meilleur que celui d'un panneau photovoltaïque (c'est-à-dire qu'un tel panneau récupère 30% à 40% de l'énergie solaire incidente).

L'objectif de ce travail est de faire une étude comparative entre deux systèmes solaires : système solaire combiné et le même système doté de piscine. Durant cette étude on va examiner trois types de résultats en ce basant sur trois bilans différents : bilan thermique,

bilan écologique et en fin un bilan économique. Cette étude est réalisée par le logiciel nommé « GETSOLAR ».

Ce travail est constitué de trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à l'étude du rayonnement solaire et le gisement solaire en Algérie avec quelques notions et définitions astronomiques, couramment utilisées dans tout domaine relatif au solaire ainsi que les différentes énergies renouvelables et les différents types de capteurs solaire existants et leurs fonctionnalités.
- Lors du second chapitre, on a commencé par la définition du chauffage, les éléments constitutif d'une installation de chauffage, on a cité aussi les différents systèmes de chauffage existants, par la suite on a fait un bilan énergétique de toute l'installation, un bilan économique et écologique.
- Et finalement le troisième chapitre présente une simulation de système par logiciel GETSOLAR, et nous interprétant les résultats obtenus.
- On a aussi Une partie annexe.
- Une introduction générale et une conclusion se rapportant au travail, complètent ce mémoire.



Chapitre I :
Aperçu sur l'énergie solaire

Dans ce chapitre, nous étudierons brièvement les énergies renouvelables, le soleil et son énergie. Nous définirons quelques données astronomiques nécessaires pour cette étude et nous introduirons quelques données sur le gisement solaire en Algérie. On va définir par la suite, de façon générale, le capteur solaire, puis on va présenter les différents types de capteurs solaires thermiques.

Introduction :

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergies dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain. L'expression énergie renouvelable est la forme courte et usuelle des expressions « sources d'énergie renouvelables » ou « énergies d'origine renouvelable » qui sont plus correctes d'un point de vue physique.

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est à l'origine de la quasi-totalité des sources d'énergies utilisées par l'homme.

L'exploitation de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes : l'une produit des calories, c'est l'énergie solaire thermique, et l'autre produit de l'électricité et c'est l'énergie photovoltaïque. Abondante, inépuisable et non polluante, ce sont ces caractéristiques qui ont suscité l'intérêt à ce type d'énergie, malgré le coût d'exploitation lourd au départ (coûts de l'installation que ce soit photovoltaïque, thermique ou hybride), qui fait qu'elle n'est pas totalement gratuite. L'utilisation de cette énergie nécessite une certaine connaissance, pour cette raison on va définir dans ce premier chapitre quelques notions sur le gisement solaire comme la géométrie solaires, les données astronomiques, le rayonnement global et le spectre solaire.

I.1. L'énergie renouvelable :

Les énergies renouvelables (EnR en abrégé) sont des sources d'énergie dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain. Elles proviennent de phénomènes naturels cycliques ou constants induits par les astres : le Soleil surtout, pour la chaleur et la lumière, mais aussi la Lune (marées) et la Terre (géothermie). Leur caractère renouvelable dépend d'une part de la vitesse à laquelle la source est consommée, et d'autre part de la vitesse à laquelle elle se régénère.

L'expression « énergie renouvelable » est la forme courte et usuelle des expressions « sources d'énergie renouvelables » ou « énergies d'origine renouvelable » qui sont plus correctes d'un point de vue physique.



Figure 1.1: Exemple d'énergie renouvelable, énergie solaire, éolienne, et biomasse.

Il y a cinq familles principales d'énergies renouvelables. Dans l'ordre d'importance de leur exploitation actuelle, ce sont :

- l'énergie solaire
- l'énergie éolienne
- la géothermie
- la biomasse (avec le bois de chauffage, ainsi que biogaz...)
- l'énergie hydraulique (hydroélectricité)

Si on compte toute l'utilisation du bois pour le chauffage et la cuisson, c'est celui-ci, et donc la biomasse, qui est l'énergie renouvelable la plus importante, tandis que pour la production d'électricité, c'est l'énergie hydraulique qui est de loin l'énergie renouvelable la plus utilisée. Les systèmes d'utilisation d'énergie renouvelable sont très variés, certains sont mis en œuvre par des particuliers et d'autres ne sont possibles ou rentables que dans de grandes installations. La quantité d'énergie produite par l'ensemble des énergies renouvelables est assez grande, mais par rapport au total de l'énergie consommée (encore beaucoup plus grand), cela reste une part assez faible. Pour que cette part augmente sérieusement, il faudrait non seulement une augmentation de la production d'énergies renouvelables mais il serait nécessaire que l'énergie consommée au total diminue beaucoup [1].

I.2. Les différents types d'énergies renouvelables :

I.2.1. Énergie solaire :

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique dans lequel se trouvent notamment les rayons cosmiques, gamma, X, la lumière visible, l'infrarouge, les micro-ondes et les ondes

radios en fonction de la fréquence d'émission. Tous ces types de rayonnements électromagnétiques véhiculent de l'énergie [1]. Le niveau d'irradiation (le flux énergétique) mesuré à la surface de la Terre dépend de la longueur d'onde du rayonnement solaire.

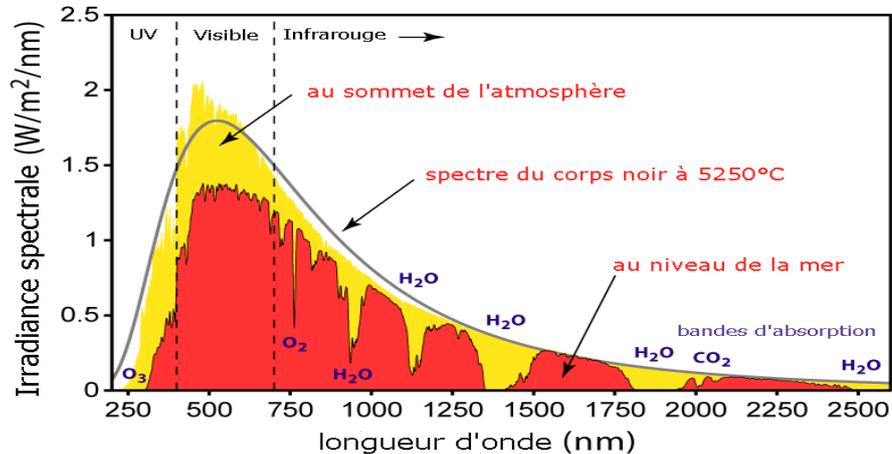


Figure 1.2 : Spectre d'irradiation solaire sur la Terre [1].

Deux grandes familles d'utilisation de l'énergie solaire à cycle court se distinguent :

- l'énergie solaire thermique, utilisation de la chaleur transmise par rayonnement,
- l'énergie photovoltaïque, utilisation du rayonnement lui-même pour produire de l'électricité.

1.2.1.1 Energies solaires thermique:

Dans les conditions terrestres, le rayonnement thermique se situe entre 0,1 et 100 micromètres. Il se caractérise par l'émission d'un rayonnement au détriment de l'énergie calorifique du corps émetteur. Ainsi, un corps émettant un rayonnement thermique diminue son énergie calorifique alors qu'un corps recevant un rayonnement thermique augmente son énergie calorifique. Le soleil émet principalement dans le rayonnement visible, entre 0,4 et 0,8 micromètre [2]. Ainsi, en entrant en contact avec un corps, le rayonnement solaire augmente la température de ce corps. On parle d'énergie solaire thermique. Cette source d'énergie est connue depuis très longtemps et est utilisée par exemple, pour chauffer ou sécher des objets en les exposant au soleil.



Figure 1.3 : Chauffe-eau solaire [2].

L'énergie thermique peut être utilisée directement ou indirectement :

- directement pour chauffer des locaux ou de l'eau sanitaire (serres, architecture bioclimatique, panneaux solaires chauffants et chauffe-eau solaire) ou des aliments (fours solaires),
- indirectement pour la production de vapeur d'un fluide caloporteur pour entraîner des turbines et ainsi, obtenir une énergie électrique (énergie solaire thermodynamique (ou *hélio thermodynamique*)).

L'énergie solaire thermique peut également être utilisée pour la cuisine. Apparue dans les années 1970, la cuisine solaire consiste à préparer des plats à l'aide d'un cuiseur ou d'un four solaire. Les petits fours solaires permettent des températures de cuisson de l'ordre des 150 °C, les paraboles solaires permettent de faire les mêmes plats qu'une cuisinière classique à gaz ou électrique.

À grande échelle, la Fondation Déserte construit dans le Sahara des centrales solaires thermiques à concentration. D'après ses ingénieurs, « les déserts de la planète reçoivent toutes les 6 heures du soleil l'équivalent de ce que consomme l'humanité chaque année » et quelques centaines de km² d'étendue désertique pourrait satisfaire l'ensemble des besoins énergétiques de la planète [3].

1.2.1.2 Énergie photovoltaïque :

L'énergie photovoltaïque se base sur l'effet photoélectrique pour créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique. Cette source de lumière peut être naturelle (soleil) ou artificielle (une ampoule). L'énergie photovoltaïque est captée par

des cellules photovoltaïques, un composant électronique qui produit de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière. Plusieurs cellules peuvent être reliées pour former un module solaire photovoltaïque ou un panneau photovoltaïque. Une installation photovoltaïque connectée à un réseau d'électricité se compose généralement de plusieurs panneaux photovoltaïques, leur nombre pouvant varier d'une dizaine à plusieurs milliers.

Il existe plusieurs technologies de modules solaires photovoltaïques :

- les modules solaires monocristallins possèdent le meilleur rendement au m² et sont essentiellement utilisés lorsque les espaces sont restreints et pour optimiser la production d'une centrale photovoltaïque.
- les modules solaires poly cristallins représentent une technologie proposant des rendements plus faibles que la technologie monocristalline.
- les modules solaires amorphes sont des panneaux solaires proposant un rendement largement inférieur aux modules solaires cristallins. Cette solution nécessite donc une plus grande surface pour la même puissance installée.

I.2.2. Énergie éolienne :

L'activité solaire est la principale cause des phénomènes météorologiques. Ces derniers sont notamment caractérisés par des déplacements de masses d'air à l'intérieur de l'atmosphère. C'est l'énergie mécanique de ces déplacements de masse d'air qui est à la base de l'énergie éolienne. L'énergie éolienne consiste ainsi, à utiliser cette énergie mécanique.



Figure I.4 : Moulins à vent.

L'énergie éolienne a été vite exploitée à l'aide de moulins à vent équipés de pales en forme de voile, comme ceux que l'on peut voir aux Pays-Bas. Ces moulins utilisent l'énergie mécanique pour actionner différents équipements. Les moulins des Pays-Bas actionnent directement des pompes dont le but est d'assécher ou de maintenir secs les polders du pays.

Aujourd'hui, ce sont les éoliennes qui prennent la place des moulins à vent. Les éoliennes transforment l'énergie mécanique en énergie électrique, soit pour l'injecter dans un réseau de distribution, soit pour être utilisée sur place (site isolé de réseau de distribution). Pour résoudre le problème d'espace, elles sont de plus en plus souvent placées en mer.

L'éolien se développe également à l'échelle individuelle. Le petit éolien est généralement utilisé pour produire de l'électricité, qui sera consommée directement sur place. De nombreux problèmes sont apparus pour des éoliennes installées en zones bâties sans étude préalable sérieuse sur les vitesses de vent et les turbulences [4].

I.2.3. Énergie hydraulique :

À 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 à l'énergie solaire. Le soleil provoque l'évaporation de l'eau, principalement dans les océans et en libère 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) acquiert, en altitude, une énergie potentielle de pesanteur ; lorsque l'eau tombe, 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 l'énergie mécanique peut être 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].



Figure 1.5 : Un moulin à eau.

D'autres énergies hydrauliques existent et proviennent généralement de sources marines :

a) Énergie des vagues :

elle est produite par le mouvement des vagues et peut être captée par des dispositifs tels le Pélamis, sorte de ver en métal articulé, le Searev ou encore le PH4S toujours au stade de prototype et qui utilise 4 sources d'énergie permettant une autonomie complète en mer [6]. Leur puissance correspond à celle d'une petite éolienne.

b) Énergie marémotrice :

Elle est produite par le mouvement de l'eau créé par les marées (variations du niveau de la mer, courants de marée).

c) Énergie hydrolienne :

Elle est issue de l'utilisation des courants sous marins.

d) Énergie thermique des mers :

Elle est produite en exploitant la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans.

I.2.4. Énergie osmotique :

Elle a pour origine la diffusion ionique qui a lieu lors de l'arrivée et du mélange d'eau douce dans l'eau salée de la mer [7]. L'idée remonte aux années 1970, elle consiste à tirer parti du phénomène d'osmose qui se produit lors du mélange d'eau de mer et d'eau douce (grâce à leur salinité différente). La première centrale osmotique a été ouverte en 2009 à Hurum en Norvège par la société Statkraft à l'embouchure du Fjord d'Oslo au bord de la Mer du Nord. Il s'agit encore d'un prototype de 3 kW destiné à tester la fiabilité du processus et à en améliorer le rendement, mais l'objectif est d'atteindre 25 MW en 2015 [8]. Depuis, une centrale a été

construite au Japon, et un autre est en construction aux États-Unis. D'après Statkraft, le potentiel technique mondial de l'énergie osmotique serait de 1 600 TWh par an, soit 50 % de la production électrique de l'Union Européenne [9].

I.2.5. Biomasse :

Indirectement, il s'agit d'énergie solaire stockée sous forme organique grâce à la photosynthèse. Depuis la nuit des temps, la biomasse solide a toujours été utilisée comme énergie renouvelable. Dans certaines régions du globe, elle est la source d'énergie principale pour cuisiner et se chauffer. Cette biomasse qui comprend tous les produits obtenus à partir de plantes ou de résidus de plantes, secs ou déshydratés comme le bois, la paille, les grignons d'olives, la bagasse de la canne à sucre, est exploitée par combustion ou métabolisation. Mais pour être une réelle énergie renouvelable, les quantités brûlées ne doivent pas excéder les quantités produites. En fonction des besoins, elle permet une production de chaleur ou d'électricité en constance. De ce fait, sa participation à la production d'énergie mondiale est énorme par rapport aux autres énergies [10]. Mais cette ressource produit de nombreux polluants et a l'inconvénient majeur d'exiger des surfaces considérables pour sa production, du fait de la faible efficacité énergétique de la photosynthèse : 3 à 6 % [11] contre, par exemple, 14 à 16 % pour une cellule photovoltaïque en silicium monocristallin [12]; et surtout, sa production sous forme d'agro carburant entre en conflit avec la production vivrière ; l'utilisation énergétique de la biomasse restera donc toujours limitée par ces multiples contraintes.

I.2.6. 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 [10]



Figure I.6 : Centrale géothermique de Nesjavellir en Islande.

La géothermie très basse énergie exploite la chaleur de la couche superficielle du sol, qui provient, non pas des profondeurs de la croûte terrestre, mais du soleil et du ruissellement de l'eau de pluie ; elle est utilisée pour :

- la climatisation passive avec par exemple, le système du puits provençal, le puits canadien, etc.
- le chauffage et la climatisation avec la pompe à chaleur géothermique, qui se développe en particulier en Allemagne, en Suède et en France ; ces pompes à chaleur sont considérées comme exploitant une énergie partiellement renouvelable car une grande partie de l'énergie qu'elles fournissent provient de l'énergie solaire emmagasinée chaque été dans la terre par le soleil, et comme des systèmes efficaces de production de chaleur car elles assurent une production d'énergie thermique très supérieure à l'énergie électrique consommée.

I.2.7. L'énergie aérothermique :

Contrairement à la géothermie où la chaleur est puisée dans le sol, l'aérothermie comme son nom l'indique, consiste à puiser la chaleur dans l'air. En effet, les rayons du soleil chauffent continuellement l'air qui se charge de calories. C'est cette chaleur qui sera récupérée par une pompe aérothermique (une espèce de gros ventilateur) qui débouche sur un échange d'air. La pompe puise donc l'air extérieur, qu'elle réchauffe pour diffuser de la chaleur à l'intérieur du bâtiment, à travers un plancher chauffant ou des radiateurs à accumulation douce. On parle dans ce cas d'un système Air/Air. L'air extérieur peut aussi être récupéré puis transformé en eau chaude grâce à l'installation d'un circuit hydraulique. On parle alors d'un système Air/Eau. L'utilisation de cette énergie permet de réaliser de très grandes économies [10].

I.2.8. La récupération d'eau de pluie :

Les études montrent que 38 % de notre consommation en eau est affectée à l'arrosage et au sanitaire et 62 % à des fins domestiques. Récupérer l'eau de pluie va donc permettre de réduire l'exploitation des eaux souterraines en utilisant une ressource naturelle. Le mécanisme est simple : l'eau de pluie est recueillie par les gouttières qui sont reliées à une cuve et un récupérateur d'eau pluviale se charge du filtre pour la débarrasser des déchets comme les insectes, les brindilles et les feuilles qui pourraient s'y trouver. Ce filtre permet également d'éviter l'altération de l'eau ainsi que la formation de vase.

Grâce à une pompe électrique, l'eau est acheminée de la cuve vers la maison où elle pourra être utilisée pour les besoins courants de toute la famille et l'entretien du domicile (cuisine, sanitaires, boisson, arrosage, lave-linge...) [10].

I.3. Les avantages des énergies renouvelables :

On attribue souvent aux énergies renouvelables des caractéristiques favorables (qu'elles peuvent mériter ou non), telles que :

- la sûreté (faible risque d'accident, faibles conséquences d'un éventuel accident, etc.).
- la propreté (peu, voire pas du tout de déchets, peu dangereux et facile à gérer : recyclables, par exemple).
- la décentralisation (développement local des territoires, réserve d'emplois locaux non délocalisables, etc. ; fin 2012, pour l'UE-27, le marché total des énergies renouvelables représentait près de 1,2 million d'emplois (dans le photovoltaïque, la biomasse solide et l'éolien surtout, pour un chiffre d'affaires cumulé (toutes EnR confondues) évalué à plus de 137 milliards d'euros. [13]).
- le respect de l'environnement, lors de la fabrication, pendant le fonctionnement, et en fin de vie (démantèlement).

Pour ces caractéristiques, c'est chaque filière, voire chaque cas séparément, qu'il convient d'examiner pour vérifier si on peut ou non lui attribuer le bienfait supposé, et si oui, dans quelle mesure. Par exemple :

- l'énergie éolienne peut certainement être considérée comme une production locale au Danemark (bien qu'elle soit très dépendante des échanges d'électricité avec la Norvège et la Suède pour compenser son irrégularité par le recours aux barrages hydroélectriques de

ces deux pays), mais pas dans un pays qui importe la technique, les capitaux, et les hommes pour faire fonctionner les machines.

- de même, l'énergie solaire perd ses atouts en termes de décentralisation, d'emploi et d'indépendance énergétique depuis la vague de faillites parmi les producteurs européens causée par l'arrivée massive des concurrents chinois à très bas coûts .
- les biocarburants ont un impact environnemental et social contesté (concurrence avec la production alimentaire, dépenses énergétiques très importantes pour le transport et la transformation des matières premières).
- les installations hydroélectriques, outre les destructions provoquées par l'engloutissement d'une vallée, peuvent se rompre (entre 1959 et 1987, trente accidents ont fait 18 000 victimes dans le monde, dont plus de 2 000 morts en Europe [14]),
- les terres rares utilisées pour la fabrication des éoliennes (néodyme et dysprosium pour les alternateurs) et des cellules photovoltaïques (gallium, indium, etc.) sont sources de
- pollutions très importantes au niveau de leur extraction ; de plus, leurs réserves limitées laissent prévoir des conflits pour l'accès aux ressources.

Par ailleurs, dans tous les cas, les énergies renouvelables réduisent la production de CO₂ à hauteur de l'énergie non renouvelable qu'elles remplacent. Cependant, elles peuvent rester responsables d'autres émissions de gaz à effet de serre pour leur mise en place (fabrication et installation des équipements) ou dans le cadre de leur fonctionnement, chaque technique devant être là encore examinée séparément.

I.4 .Nuisances et pollutions :

Le terme d'énergie renouvelable est souvent assimilé à celui d'énergie propre ou « propre et sûre ». La définition est différente : une énergie propre ne produit pas ou peu de polluant, ou bien, elle produit des polluants qui disparaissent rapidement sans conséquences pour l'environnement. Une énergie renouvelable n'est pas nécessairement propre [15], et inversement : par exemple, la collecte et la combustion de la biomasse peut produire des nuisances (déforestation, réduction de biodiversité, etc.) et des polluants (NO_x, suies, dioxines, etc., c'est notamment le cas de la biomasse solide comme le bois) [16][17]. Il n'y a donc que des sources d'énergie plus ou moins nuisibles suivant les circonstances [18]. Selon l'OMS, près de 1,7 millions de décès prématurés par an sont attribués à la pollution de l'air intérieur causée par la cuisine dans l'Asie du Sud-est, l'Inde en particulier, où 700 millions de

personnes dépendent des combustibles solides (bois, charbon de bois, charbon, déchets végétaux et animaux) et des foyers traditionnels pour cuisiner [19].

I.5. Le gisement solaire :

I.5.1. Le soleil :

Le soleil est la seule étoile du système solaire et la plus proche de la terre, sa lumière met environ 8 mn à nous atteindre. La deuxième étoile la plus proche est Proxima de Centaure située à 4.23 années lumières du soleil mais la grande distance qui nous sépare de cette étoile, fait que le soleil soit la seule étoile qui assure la vie sur terre. [20], [22]

Sur le plan humain, le soleil a une importance primordiale car il est à l'origine de la vie sur terre, en lui fournissant d'énormes quantités d'énergie, qui permet la présence de l'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement solaire est aussi responsable du climat et des phénomènes météorologiques [20].

I.5.2. Présentation générale :

Le soleil est une étoile naine de forme pseudo-sphérique comparable à une immense boule de gaz très chauds qui se compose de 80% d'hydrogène et de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus [20], [23]. Bien que le soleil soit une étoile de taille moyenne, il représente à lui seul 99.9% de la masse du système solaire qui est dominé par les effets gravitationnels de l'importante masse du soleil [20], [23].

I.5.3. Caractéristiques du soleil :

Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans le tableau I.1.

Tableau I.1. Caractéristiques principales du soleil [20].

Diamètre (km)	1392000
Masse (kg)	2.10^{30}
Surface (km ²)	$6.09.10^{12}$
Volume (km ³)	$1.41.10^{18}$
Masse volumique moyenne (kg/m ³)	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	$2.5.10^{17}$

I.5.4. Constitution du soleil :

C'est une sphère non homogène dans laquelle on peut distinguer les zones principales suivantes: le noyau, la zone radiative et convective, la photosphère, la chromosphère et la couronne solaire :

- Le noyau contient 40% de la masse du soleil, c'est là où se crée 90% de son énergie sous forme de rayons gamma et X, tout le rayonnement émis dans cette région est totalement absorbé par les couches supérieures, cette zone s'étend sur une épaisseur de 25.104 km, elle présente les caractéristiques suivantes [24], [25] :

- Une température de 15.10^6 °C.
- Une densité est de 1015 kg/m³.
- Une pression de 109 atm.

- La zone radiative où la chaleur produite se propage par une diffusion radiative, elle présente les propriétés suivantes [25], [26]:

- Une épaisseur de 244160 km.
- Une température variant de 10.10^6 °C à 50.10^4 °C.

- La zone de convection où la chaleur produite se propage par une convection turbulente, elle présente les propriétés suivantes [24], [25] :

- Une température comprise entre 50.10^4 °C à 6400 °C.
- Une épaisseur de l'ordre 199758 km.

- La photosphère est une couche opaque, les gaz qui la constituent sont fortement ionisés et capables d'absorber et d'émettre un spectre continu de radiations, elle émet 99% du rayonnement total principalement dans le visible et c'est elle que l'œil humain perçoit.

Elle présente les caractéristiques suivantes [27] :

- La température de surface décroît de 6400 °C à 4500 °C.
- Une épaisseur de 500 km.
- Une pression de 1/100 atm.

- La chromosphère constitue avec la couronne l'atmosphère du soleil, cette couche présente les caractéristiques suivantes [26], [27] :

- Une épaisseur 2000 km.
- Une température augmentant de 4200 °C à 10^4 °C.

- La couronne est la dernière couche du soleil, ses caractéristiques sont [25]:
- Elle est sans limite précise.
- La température augmente de 10^6 °C à 2.10^6 °C.

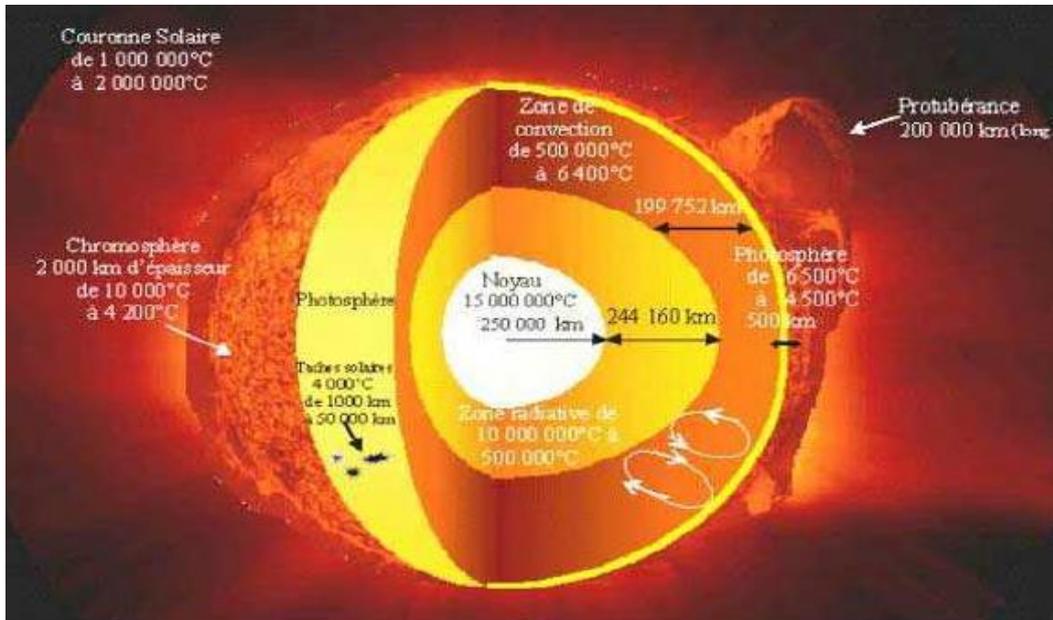


Figure 1.7: Structure du soleil.

I.5.5. Evolution du soleil :

Pendant les cinquante premiers millions d'années de son existence, le soleil s'est contracté jusqu'à atteindre approximativement sa taille actuelle. L'énergie gravitationnelle libérée par ce mouvement a chauffé l'intérieur de l'astre et, lorsque le noyau s'est révélé suffisamment chaud, la contraction a cessé pour laisser place à la réaction de fusion thermonucléaire [23].

La durée de vie du soleil dépend de la quantité d'hydrogène qui reste à consommer, on estime qu'il existe depuis environ 4.5 milliards d'années, et subsistera, tel qu'il est, pendant au moins encore 5 milliards d'années [23].

Lorsque le soleil aura épuisé ses réserves d'hydrogène, il changera de structure. Sa surface externe s'étendra au-delà de l'orbite actuelle de la terre ou il se transformera en une géante rouge, légèrement plus froide en surface qu'actuellement, mais 10 000 fois plus brillante en raison de sa taille gigantesque. Le soleil demeurera une géante rouge, brûlant l'hélium dans son noyau, pendant un demi-milliard d'années seulement, après ce stade, le noyau résiduel du

soleil s'effondrera pour former une étoile naine blanche petite de la taille de la terre environ, il se refroidira alors lentement pendant plusieurs milliards d'années [23].

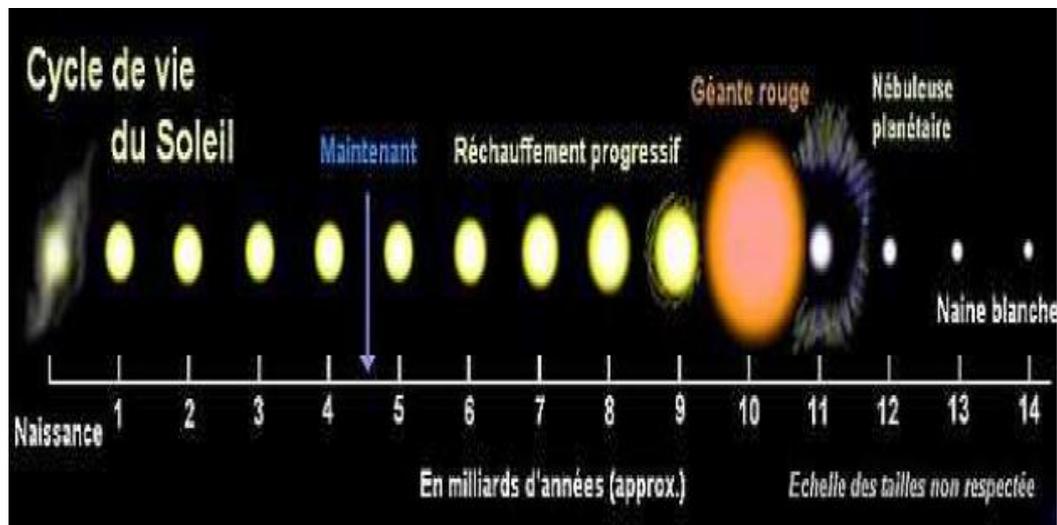


Figure I.8 : Cycle de vie du soleil.

I.5.6. Le rayonnement solaire :

Le rayonnement Solaire est une énergie produite par le Soleil à la suite de réactions de fusion thermonucléaire qui dégage une très grande quantité d'énergie, source de la plupart des énergies disponibles sur Terre et exploitable pour la production d'électricité. L'énergie solaire se propage dans l'espace sous la forme de « grains », ou quanta d'énergie, les photons ; elle est sans cesse renouvelée.

Les réactions thermonucléaires produites au cœur du soleil génèrent des rayonnements corpusculaires et électromagnétiques se propageant dans toutes les directions du vide intersidéral avec une vitesse de 3.10^8 m/s et couvrant toutes les longueurs d'ondes depuis les rayons X et gamma jusqu'à l'I.R lointain. Cependant 99.9% de l'énergie se situe entre 0.2 et $8\mu\text{m}$.

On pourra supposer avec une approximation acceptable que le soleil rayonne comme un corps noir porté à une température de 5762 K dite température apparente du soleil ne correspondant pas à la réalité physique [27].

La répartition de l'énergie solaire dans les bandes du spectre du rayonnement thermique est donnée dans le tableau I.2 :

Tableau I.2. Répartition spectrale du rayonnement thermique [27].

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

La figure illustre le rayonnement solaire, ses fréquences et ses longueurs d'ondes :

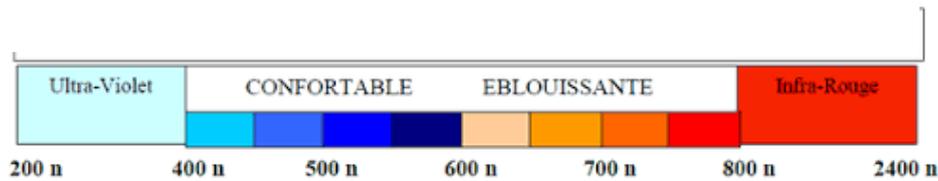


Figure I.9 : Décomposition du Spectre solaire.

*La constante solaire :

C'est la quantité d'énergie totale envoyée par le soleil à la limite de l'atmosphère terrestre sur une surface unité perpendiculaire au rayonnement solaire [29].

La variation de la constante solaire suit la relation suivante [25] :

$$C^* = C_0^* + 0.033 \times \cos(0.948 \times n) \quad (I.1)$$

C^* : La constante solaire.

$C_0^* = 1353 \text{ W/m}^2$: est la valeur moyenne de la constante solaire actuellement retenue [25].

n : Le numéro du jour de l'année.

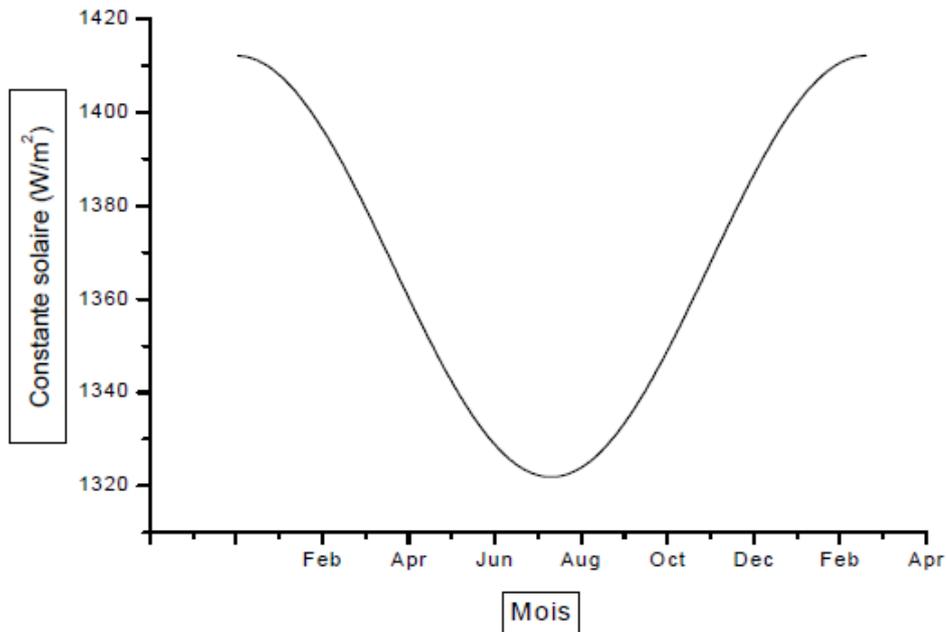


Figure I.10: Variation mensuelle de la constante solaire.

a) Le rayonnement solaire direct:

Le rayonnement direct est le rayonnement incident sur un plan donné en provenance d'un petit angle solide centré sur le disque solaire, il parvient en ligne droite et par temps clair [30]. L'état du ciel est défini par deux coefficients, a et b qui symbolisent le trouble atmosphérique du lieu où se trouve le capteur solaire (tableau I.3).

La transmissivité totale de l'atmosphère pour le flux solaire incident direct est donnée par [31]:

$$\tau_{dir} = a \times \exp(-P \times b) / (1000 \times \sinh) \quad (I.2)$$

Où:

a, b : Coefficients traduisant les troubles atmosphériques.

h : Hauteur du soleil.

P : Pression atmosphérique du lieu.

Tableau I.3. Valeurs des coefficients du trouble atmosphérique [31].

	Ciel pur	Conditions normales	Zones industrielles
A	0.87	0.88	0.91
B	0.17	0.26	0.43

Tableau I.4. La variation de la pression atmosphérique avec l'altitude [31].

Altitude (m)	0	500	1000	1500	2000	5000
P (mbar)	1000	950	900	850	800	500

Le rayonnement direct reçu sur un plan horizontal est donné par [27] :

$$G_{dirh} = c^* \times \tau_{dir} \quad (I.3)$$

G_{dirh} : Éclairement énergétique direct reçu sur un plan horizontal.

L'éclairement énergétique G_{dir} reçu sur un plan incliné est donné par [31] :

$$G_{dir} = G_{dirh} \times \cos\theta \quad (I.4)$$

θ : Angle d'incidence des rayons solaires.

b) Le rayonnement solaire diffuse:

Le rayonnement diffus résulte de la diffraction de la lumière par les molécules atmosphériques, et de sa réfraction par le sol, il parvient de toute la voute céleste [30].

La relation entre le coefficient de transmission du flux direct et diffus est [31] :

$$\tau_{dif} = 0.271 \times 0.2939 \times \tau_{dir} \quad (I.5)$$

Le flux diffus reçu sur un plan horizontal est défini par [31]:

$$G_{dif} = C^* \times \sin(h) \times \tau_{dif} \quad (I.6)$$

Le flux diffus reçu sur un plan incliné est défini par [31] :

$$G_{dif} = G_{dif1} + G_{dif2} \quad (I.7)$$

$$G_{dif1} = G_{dirh} + \frac{1+\cos(i)}{2} \quad (I.8)$$

$$G_{dif2} = alb \times \frac{1+\cos(i)}{2} \times (G_{dirh} \times \sin(i) + G_{dirh}) \quad (I.9)$$

G_{dif1}, G_{dif2} : Rayonnements diffusés par le ciel et par le sol respectivement.

Alb : Albédo du sol.

i : Angle d'inclinaison du plan du capteur par rapport à l'horizontale.

c) Le rayonnement global:

Le rayonnement global (G) est la somme des rayonnements diffus et direct [30]:

$$G = G_{dif} + G_{dir} \quad (I.10)$$

I.5.7. Calcul de la position du soleil :

I.5.7.1. Les paramètres de position :

a) Les coordonnées géographiques:

Tout point de la surface de la terre est repéré par ses coordonnées géographiques [27], [28], [32]:

- La longitude (λ) est l'angle entre le plan méridien passant par ce lieu avec la méridienne origine de Greenwich, elle varie de -180° à $+180^\circ$ de l'ouest à l'est.

- La latitude (L) est l'angle avec le plan équatorial que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu, elle varie entre -90° au pôle Nord et $+90^\circ$ au pôle Sud.

- L'altitude (Z) correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de référence, le géoïde, figurant le niveau moyen de la mer.

La détermination de la direction du soleil sur la sphère céleste se fait par des coordonnées célestes du soleil qui sont :

b) Les coordonnées célestes horizontales:

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles qui sont [27], [32]:

- L'azimut (a) est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil (figure I.5). Il est donné par la relation suivante :

$$\sin(a) = \cos(d) \times \frac{\sin(\omega)}{\sin(h)} \quad (I.11)$$

- La hauteur du soleil (h) est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur un plan horizontal (figure I.5), elle est donnée par la formule [27], [32] :

$$\sin(h) = \sin(L) \times \sin(d) + \sin(L) \times \cos(d) \times \cos(\omega) \quad (I.12)$$

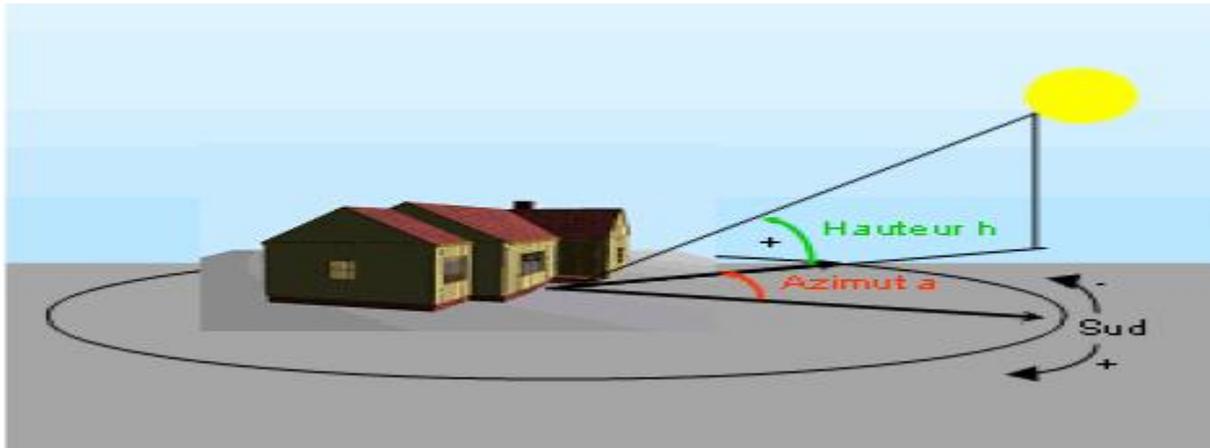


Figure I.11 : Les coordonnées célestes horizontales.

c) Les coordonnées célestes horaires:

- L'angle horaire (ω) est l'arc de la trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu, il augmente de 15° par heure [20], [27], [30].
- La déclinaison (d) est l'angle entre le plan de l'équateur terrestre avec la direction terre-soleil. Elle varie suivant l'équation de Cooper :

$$d = 23.45 \times \sin\left(\frac{360}{365}\right) \times (n - 81) \quad (\text{I.13})$$

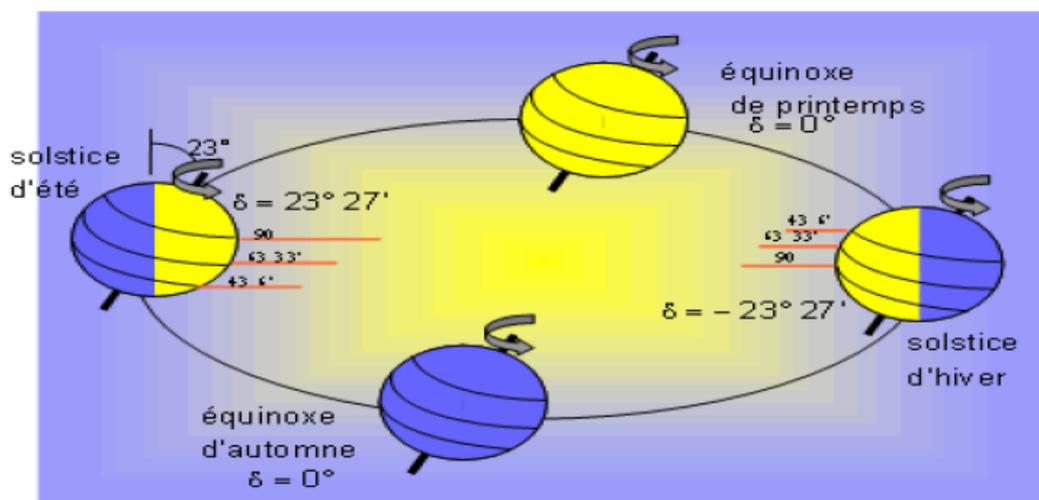


Figure I.12: Variation annuelle de la déclinaison solaire.

I.5.7.2. Les paramètres de temps :

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:

$$TSV = 12 + \frac{\omega}{12} \quad (I.14)$$

- Le temps solaire moyen (TSM) est donné par [20]:

$$TSV - TSM = ET \quad (I.15)$$

ET : est l'équation du temps qui corrige le TSV par rapport au TSM [20] :

$$ET = 9.87 \times \sin(2 - N') - 7.53 \times \cos(N') - 1.5 \times \sin(N') \quad (I.16)$$

$$N' = \sin\left(\frac{360}{365}\right) \times (n - 81) \quad (I.17)$$

- Le temps universel (TU) est le temps moyen de Greenwich [20]:

$$TU = TSM - \frac{\lambda}{15} \quad (I.18)$$

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

$$TL = TU + \Delta H \quad (I.19)$$

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

I.6. L'énergie solaire :

I.6.1. Origine :

Les conditions résidentes au cœur du soleil favorisent l'interaction des différents atomes d'hydrogène qui subissent une réaction de fusion thermonucléaire. Le résultat de ce processus, lorsqu'il se répète est la fusion de quatre noyaux d'hydrogène en un noyau d'hélium avec émission d'énergie sous forme de rayonnements gamma et X.

Chaque seconde, 564 millions de tonnes d'hydrogène se transforment en 560 millions de tonnes d'hélium, cette différence de 4 millions de tonnes par seconde correspond à la différence d'énergie de liaison entre les protons d'hydrogène et ceux d'hélium donnant une énergie sous forme de rayonnement, estimée à $3.7.10^6$ j/s.

I.6.2.Caractères particuliers :

L'énergie solaire est la seule source d'énergie externe de la terre, elle présente les propriétés suivantes [28]:

- Elle est universelle, sa densité de puissance maximale est de 1kW/m^2 à midi par ciel bleu densité de puissance maximale reçue au niveau du sol (1 kW/m^2) est peu dense on parle alors d'énergie diffuse.
- Elle est abondante, notre planète reçoit plus de 10^4 fois l'énergie que l'humanité consomme.
- Elle est intermittente et variable à cause de l'alternance du jour et de la nuit, des variations saisonnières et quotidiennes de l'ensoleillement. Sur toute la planète.
- L'énergie reçue par une surface donnée n'est pas récupérable en totalité ceci est dû aux pertes d'énergie sous formes conductrice, convective ou rayonnante.
- Elle est propre.

I.6.3.Captation :

Il existe différentes techniques pour capter une partie de cette énergie à savoir:

a) 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.

b) L'énergie solaire thermodynamique :

La solaire thermodynamique utilise le solaire thermique pour produire de l'électricité selon le même principe qu'une centrale électrique classique mais en utilisant des centrales hélios thermoélectriques [28], [35].

Trois types principaux de centrales sont utilisés [28]:

- Les centrales à capteurs cylindro-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 .

c) L'énergie solaire photovoltaïque :

Elle permet de produire de l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque [18].

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 [18].

I.7. Le gisement solaire :

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 [33].

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

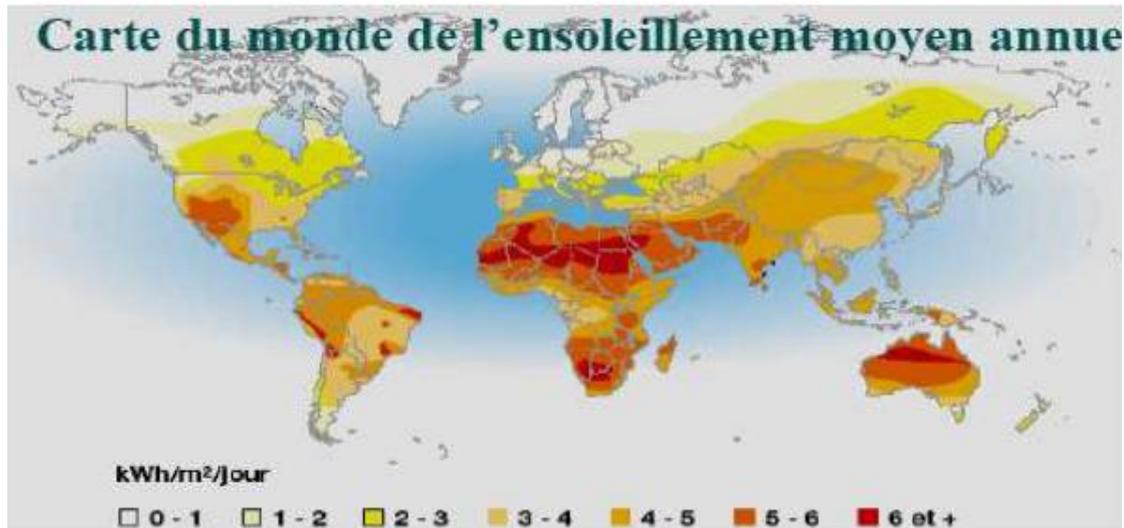


Figure I.13: Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel.

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) [34] a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au

niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau I.5 selon l'ensoleillement reçu annuellement [34]:

Tableau I.5. Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques. [34]

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

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 [34].

La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie.

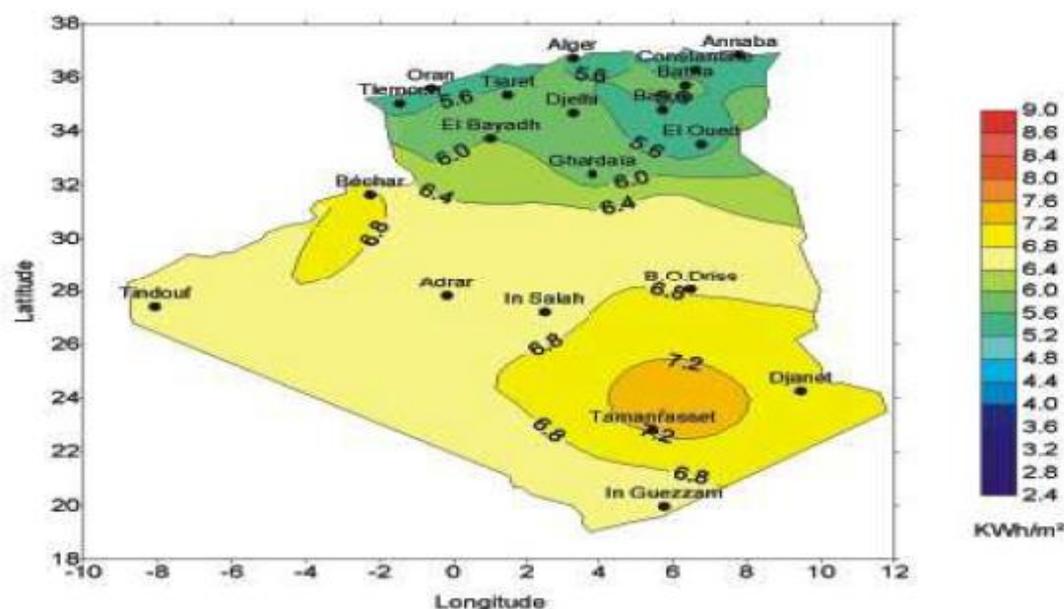


Figure I.14 : Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu.

En Algérie, il existe un réseau de 78 stations de mesure météorologiques de l'O.N.M (annexe A) réparties sur tout le territoire algérien (figure I.14) [33]. Cependant, seules 7 stations météorologiques assurent la mesure des composantes diffuses et globales du rayonnement solaire reçu sur un plan horizontal en raison, soit du manque de fiabilité des appareils de

mesure, ou bien, du coût élevé d'un tel appareillage. La durée d'insolation quant à elle, est mesurée par un héliographe dans la majorité des stations de (O.N.M) à cause de la facilité de sa mise en œuvre.

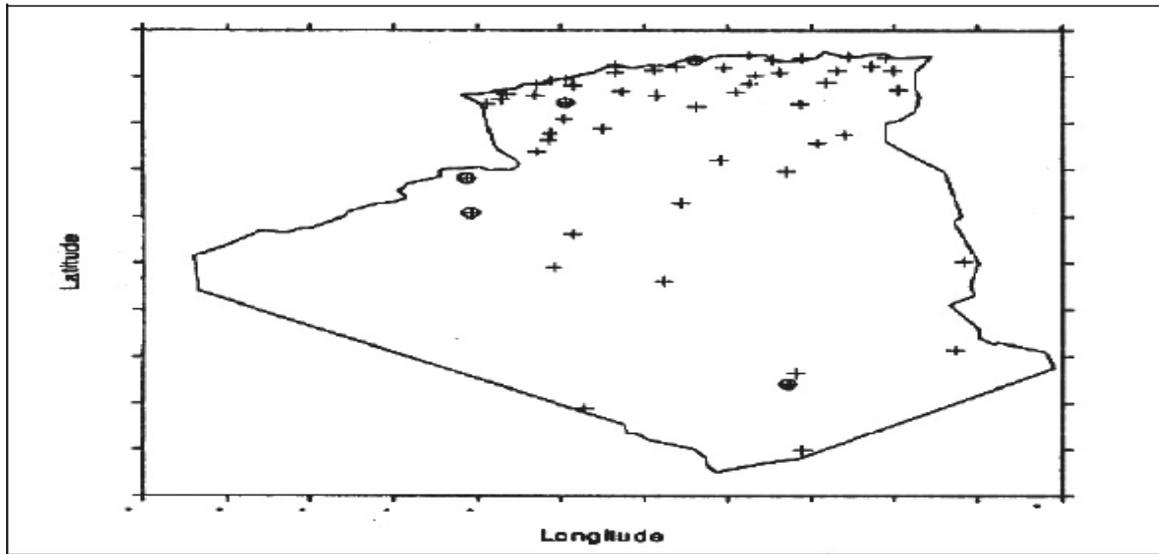


Figure I.15: Répartition territoriale des stations météorologiques en Algérie. [33]

I.8. Les différents types de capteur solaire :

Il existe différents types de capteurs solaires thermiques selon le type d'application considéré, la nature de l'élément caloporteur utilisé et le niveau de température qu'ils permettent d'atteindre. Le type d'application peut aller du chauffage d'une piscine avec un capteur léger, à une centrale solaire thermodynamique produisant de l'électricité. Le fluide caloporteur peut être de l'air, de l'eau, un mélange antigel, un fluide à changement de phase, une huile qui se ne dégrade pas à haute température. La majeure partie des applications est celle du chauffage de l'eau sanitaire et celui du chauffage des locaux, avec des fluides caloporteurs liquides. Ils peuvent être classés en deux types : concentration et non concentration.

I.8.1. Capteurs à concentration [36] :

Ce type de capteurs utilise des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-paraboliques pour concentrer les rayons solaires respectivement dans le foyer ponctuel ou dans le foyer linéaire de ces surfaces. Dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbants) qui captent la chaleur solaire ainsi concentrée. Naturellement ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil.

a) Les éléments constitutifs du capteur à concentration [36]:

Un capteur solaire thermique à concentration est composé :

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

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

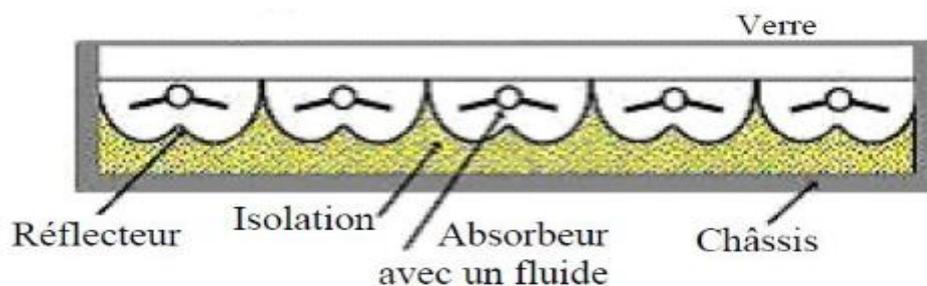


Figure I.16 : Les éléments constitutifs du capteur à concentration.

b) Centrales thermiques solaires [36] :

Les centrales thermiques solaires permettent de produire de l'électricité en transformant l'énergie solaire en énergie mécanique puis en énergie électrique (turbine).

Seul le rayonnement direct peut faire l'objet d'une concentration. Les centrales thermiques solaires utilisent des miroirs afin de diriger le rayonnement solaire direct sur un récepteur et de produire ainsi des températures suffisamment élevées pour la production de vapeur. Cette vapeur actionne des turbines générant l'énergie électrique

c) Descriptive techniques [36] :

Les capteurs à concentration sont des capteurs solaires muni d'un système optique (réflecteur, lentilles, etc.) destiné à concentrer sur l'absorbeur le rayonnement ayant traversé l'ouverture.

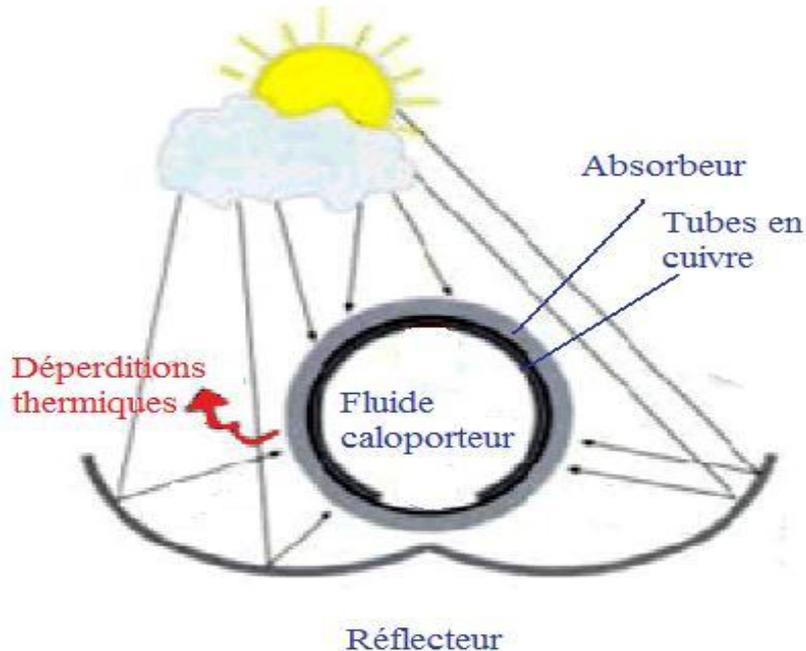


Figure 1.17 : Description du fonctionnement du capteur à concentration.

Au lieu de frapper directement la surface absorbante, les rayons solaires arrivent sur les miroirs qui les renvoient sur la surface absorbante qui convertit le rayonnement en chaleur. La chaleur est ensuite transmise au fluide caloporteur.

L'intérêt de ce procédé est de réduire grandement la taille de l'absorbeur, ce qui réduit les pertes de chaleur et augmente son efficacité.

A l'intérieur des tubes de cuivre circule le fluide caloporteur qui peut être de l'eau ou de l'air.

En général, les capteurs à concentration sont utilisés pour des applications à haute température.

I.8.1.1. Capteur cylindro-parabolique :

Les capteurs cylindro-parabolique ou PTC (Parabolic Trough Collector) sont les concentrateur linéaires les plus largement utilisé pour la conversion thermodynamiques de l'énergie solaire dans les gammes de puissance de plusieurs dizaines de MWth a quelques centaines de MWth. Les températures du travail peuvent y aller de 270 à 550°C selon les cas. Les rendements de conversion de capteur η_{capt} sont voisins de 70% en régime nominal [37].



Figure I.18 : Capteur cylindro-parabolique.

I.8.1.2. Capteur parabolique:

Les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome. Ils suivent le soleil sur 2 axes afin de concentrer le rayonnement solaire sur le foyer de la parabole réfléchissante.



Figure I.19 : Capteur parabolique.

I.8.2. Les capteurs à tubes sous vides [36]:

Un capteur solaire "sous vide" est composé d'une série de tubes transparents en verre de 5 à 15 cm. de diamètre. Dans chaque tube il y a un absorbeur pour capter le rayonnement solaire et un échangeur pour permettre le transfert de l'énergie thermique. Les tubes sont mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur et l'absorbeur reçoit un traitement sélectif.

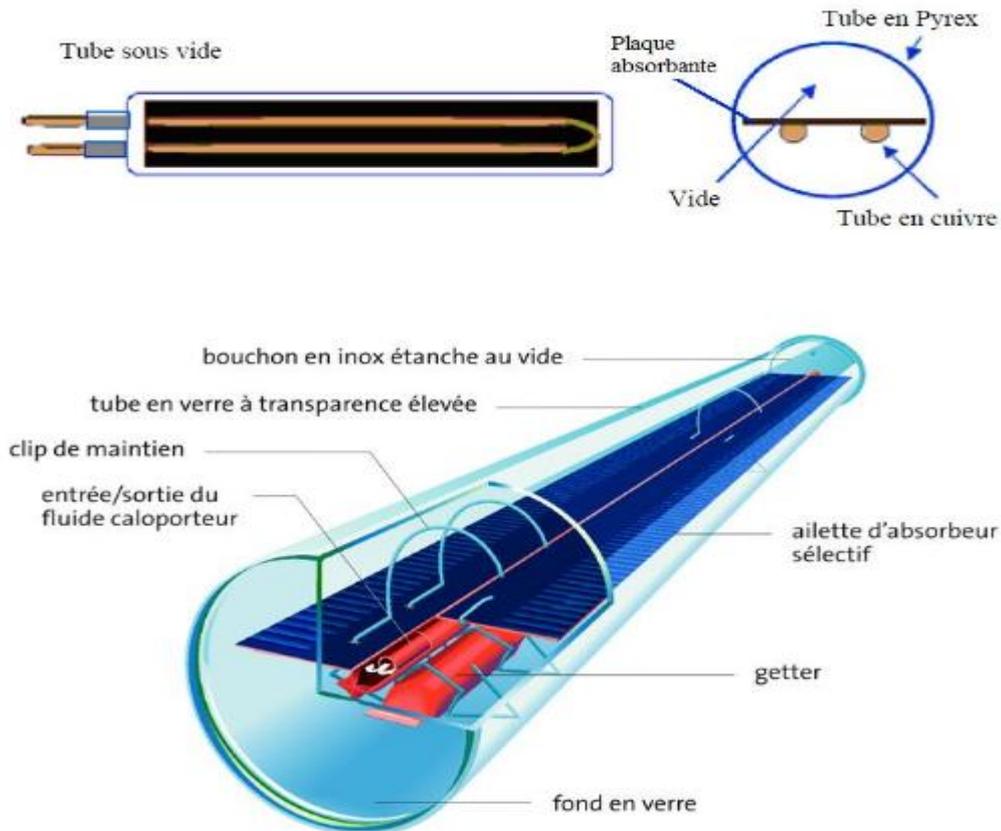


Figure 1.20 : Les éléments constitutifs du tube sous-vide.

a) Descriptifs techniques [36] :

Grâce aux propriétés isolantes du vide, les déperditions de chaleur par convection sont fortement réduites. Ceci permet de chauffer l'eau à une température comprise entre 85°C et 100°C.

Les capteurs à tubes sous vide sont en principe utilisés pour l'appoint au chauffage ou pour la génération de « chaleur de processus » exigeant des températures entre 80 et 100°C. De telles températures élevées sont requises pour des applications industrielles utilisant de l'eau très chaude ou de la vapeur, par exemple les processus de lavage, de séchage ou le refroidissement solaire.

Ces capteurs peuvent également servir à l'apport en ECS (Eau Chaude Sanitaire) ou même au chauffage des piscines ; cependant, cette solution ne s'avère généralement pas économique car leur coût, bien que 1,5 à 2 fois plus élevé que celui des capteurs plans, n'est pas compensé par une efficacité beaucoup plus importante dans les régions au climat chaud.

Les capteurs solaires thermiques sous vides sont principalement utilisés pour :

- L'alimentation d'un groupe de froid par absorption.
- La production d'eau chaude dans les bâtiments tertiaires (hôpitaux).

L'usage de ces capteurs est assez répandu en Europe du Nord et en Suisse.



Figure I.21 : Capteur à tubes sous vide.

I.8.3. Capteurs solaires plan (non concentration) [36]:

Le rayonnement solaire peut être transformé en chaleur à basse température, par des capteurs plans utilisant conjointement l'absorbeur, surface sélective et l'effet de serre créé par le vitrage. Ces capteurs ont l'avantage d'utiliser aussi bien les rayons directs du soleil que les rayons diffusés, c'est à dire que même par temps couvert, le fluide caloporteur de capteur parvient à s'échauffer. L'autre avantage est qu'il n'est pas nécessaire d'orienter le capteur suivant le soleil.

La chaleur produite par les capteurs peut ensuite être utilisée pour :

- Chauffer les locaux et fournir l'eau chaude sanitaire.
- Activer la croissance des végétaux.
- Sécher les grains et les fourrages

- Faire fonctionner des moteurs thermiques
- Alimenter des machines de réfrigération.

a) Les éléments constitutifs du capteur plan [36]:

Un capteur plan vitré est composé :

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

Les tubes sont parcourus par un fluide caloporteur, il se réchauffe au fil de l'écoulement dans les tubes.

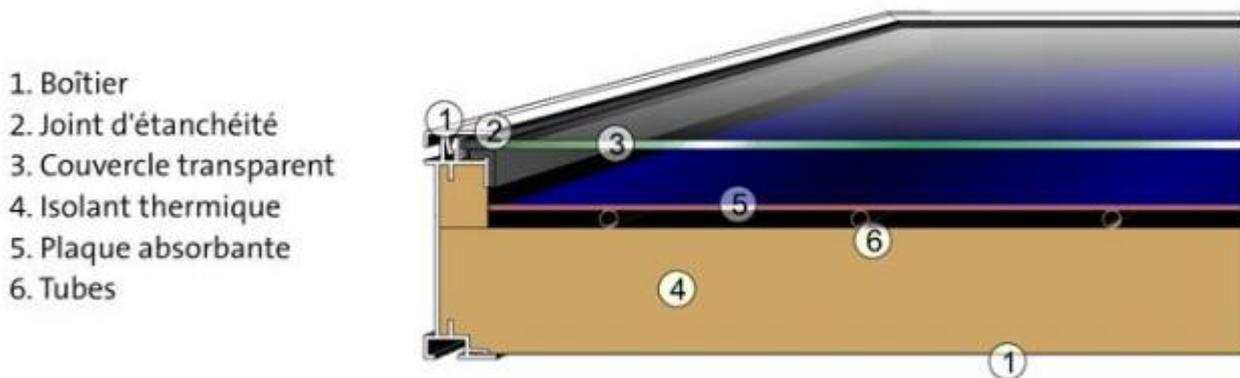


Figure I.22 : Les éléments constitutifs du capteur plan.



Figure 1.23 : Capteur plan.

b) Descriptifs techniques [36] :

L'absorbeur est en générale une plaque métallique (en cuivre, en aluminium ou en acier), caractérisé par ses propriétés d'absorption, d'émission et de conduction. La conversion rayonnement-chaaleur s'effectue en surface de l'absorbeur. Les photons qui le frappent sont absorbés par la matière et augmentent l'agitation des molécules, et donc la température du matériau exposé au rayonnement (c'est-à-dire l'absorbeur)

La chaleur absorbée est ensuite distribuée vers les conduites d'eau ou d'air fixés sur la plaque absorbante. La capacité d'absorption varie en fonction du revêtement de la surface extérieure de l'absorbeur. Des couches sélectives sont généralement utilisées. Elles ont l'avantage d'avoir une émissivité considérablement réduite dans le champ des longueurs d'onde du rayonnement thermique, ce qui diminue les déperditions thermiques. La performance du capteur plan dépend fortement des qualités optiques des matériaux. Environ 60 % du rayonnement est transmis au fluide caloporteur sous forme de chaleur.

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.

Les capteurs plans ne nécessitent ni concentration du rayonnement incident, ni un suivi du soleil.

I.8.4. Les capteurs solaires plans non vitrés [36] :

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.

Un capteur solaire non vitré, aussi appelé capteur "moquette", est composé :

- d'un absorbeur (métallique ou synthétique) revêtu d'une peinture sombre et sélective,
- d'un faisceau de tubes cylindriques ou ovalisés, résistants aux rayonnements ultraviolets et aux variations de température.

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

Ces capteurs solaires ne sont généralement pas isolés. De ce fait, en sortie du capteur, l'eau n'excède pas 20°C.



Figure I.24 : Capteur plan non-vitré.

a) Avantages des capteurs solaires non vitrés [36] :

Les avantages des capteurs solaires non vitrés sont les suivants :

- Peu coûteux : environ 150 € par m² de capteurs, fournis posés.
- Facile à mettre en œuvre

b) Application des capteurs solaires non-vitrés [36] :

Compte-tenu des faibles températures de l'eau obtenues en sortie des capteurs non-vitrés (20°C), ces capteurs n'ont pas d'application directe dans la production d'eau chaude sanitaire. Il est néanmoins possible d'utiliser les capteurs non vitrés pour un préchauffage de l'eau, dans les grosses installations.

La seule application des capteurs solaires non vitrés est le chauffage de l'eau de la piscine :

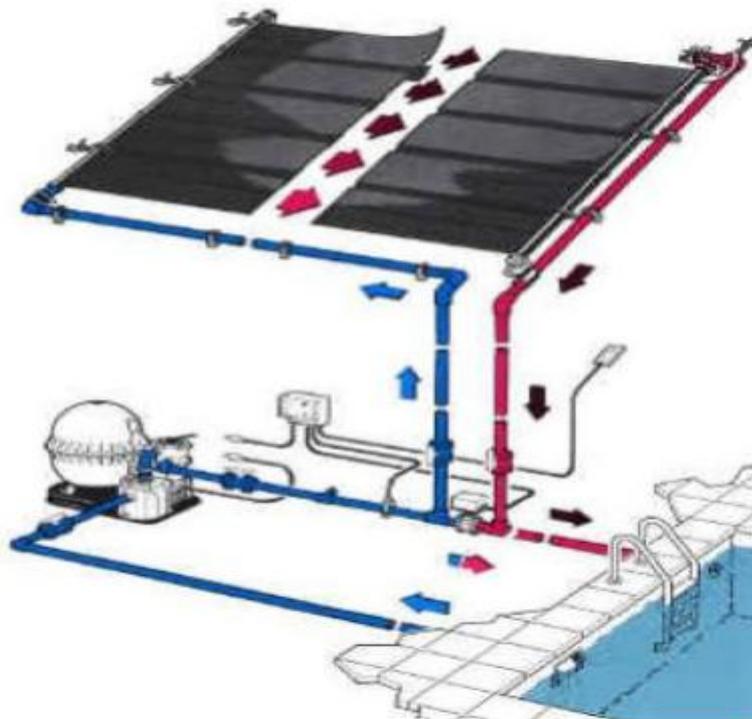


Figure I.25 : Chauffage de l'eau d'une piscine par un capteur solaire plan non vitré.

L'eau de la piscine est pompée jusqu'aux capteurs. En circulant dans les faisceaux de tubes, l'eau est chauffée, puis ramenée dans la piscine. Une piscine sans chauffage n'atteint une bonne température de baignade que 3 à 4 semaines en saison estivale. Les capteurs non vitrés (ou capteurs moquette) présentent un très bon rendement pour la plage de température correspondant au réchauffage de l'eau de la piscine.

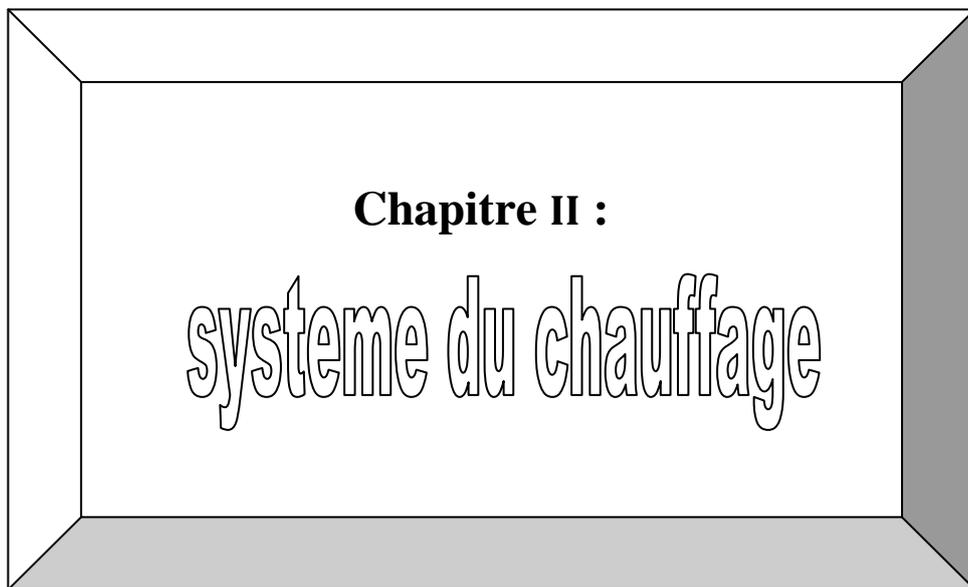
Ils apportent quelques degrés de plus à la température de l'eau et permettent donc d'augmenter la période d'utilisation de la piscine. En règle générale, la surface des capteurs doit être comprise entre 25% et 40% celle de la piscine.

Conclusion :

La principale raison pour empêcher de ne plus utiliser les sources d'énergie renouvelable c'est que, jusqu'à récemment, les coûts de production de ces énergies étaient beaucoup plus élevés que ceux des énergies fossiles. De plus, les sources d'énergie renouvelable ne sont pas constantes : imaginez par exemple que le vent tombe soudainement ou que des nuages couvrent le soleil. Une exploitation optimale de ces sources nécessiterait également la construction d'installations dans des zones reculées, dont le raccordement au réseau principal serait à la fois coûteux et difficile. Toutefois, la situation évolue rapidement.

Des politiques mises en place ont contribué à faire grimper la demande en sources d'énergie renouvelable dans le monde, entraînant une diminution rapide de leurs coûts de production. Vu l'augmentation du prix du gaz et du pétrole ces dernières années et les initiatives prises par les gouvernements, il ne fait aucun doute que les sources d'énergie renouvelable ont un bel avenir devant elles.

L'Algérie est un pays très vaste d'un climat très diversifié, ayant deux grandes zones géographique distinctes, le Nord méditerranéen et le Sud saharien, il peut devenir un bon concurrent dans cette course de recours aux énergies renouvelables.



Chapitre II :
systeme du chauffage

- **Dans ce chapitre, on a commencé par la définition du chauffage, on a cité les éléments constitutifs d'une installation de chauffage, les différents systèmes de chauffage existants et leurs fonctionnements, par la suite on a fait un bilan énergétique de toute l'installation, un bilan économique et écologique.**

Introduction :

Tous les types de bâtiments, qu'ils soient d'habitation ou tertiaires, nécessitent des systèmes plus ou moins complexes pour maintenir, pour leurs occupants, une ambiance confortable. Ces systèmes apportent, suivant les saisons, chaleur ou fraîcheur (climatisation), avec plus ou moins d'efficacité (meilleure ambiance pour une moindre consommation).

Les systèmes solaires combinés et les chauffe eau solaires sont des systèmes thermiques actifs qui utilisent l'énergie du soleil, via un capteur solaire pour convertir une partie des besoins (eau chaude sanitaire, chauffage).

De cela dans ce chapitre on va définir brièvement le chauffage, les éléments constitutifs d'une installation de chauffage et le système d'appoint, puis on va citer les différents systèmes de chauffage solaires existants et leurs fonctionnements par la suite on va présenter le bilan énergétique de l'installation étudié, ses aspects économique, écologique et le contrôle d'humidité.

Enfin une conclusion aura terme de ce chapitre.

II.1. Définition du chauffage :

Le chauffage est l'action de transmettre de l'énergie thermique à un objet, un matériau ou à l'air ambiant. On distingue le chauffage à des fins de confort thermique (chauffage des locaux, de l'eau chaude sanitaire, etc.) et le chauffage à des fins industrielles (chauffage de pièces mécaniques, de processus industriels, etc.).

Le confort thermique est assuré principalement par le chauffage des locaux et volumes de vie ainsi que par le chauffage de l'eau chaude sanitaire, voire le chauffage des eaux de piscines.

Le chauffage à des fins de confort est utilisé pour maintenir ou améliorer les conditions d'une ambiance agréable pour les êtres vivants, dans les espaces clos constituant les lieux de vie (bâtiments, habitacles de moyens de transports, piscines, etc.).

L'objectif du chauffage est d'améliorer le confort thermique d'un espace à vivre. Un système de chauffage consomme de l'énergie sous une forme et la restitue sous forme de chaleur.

Par extension, le terme chauffage désigne aussi tous les systèmes destinés à assurer l'augmentation de température d'une pièce à vivre ou d'un processus de fabrication.

II.2. 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 ».

II.3. Eléments constitutif d'une installation thermique :

Un système de chauffage comprend nécessairement :

- **une source de chaleur :** la source de chaleur se trouve nécessairement à une température supérieure à la température de l'objet, du matériau ou l'espace à chauffer, sauf dans le cas des pompes à chaleur .
- **un émetteur de chaleur :** l'émetteur de chaleur permet l'échange de l'énergie thermique entre la source de chaleur et l'objet, le matériau ou l'espace à chauffer. 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.

Dans le premier cas, l'émetteur transmet sa chaleur par convection et/ou rayonnement. Dans le deuxième cas, c'est un ventilateur qui pulse l'air au travers d'une batterie chaude et qui transmet la chaleur au milieu ambiant par recyclage et mouvement d'air.

Ces deux éléments peuvent éventuellement être confondus (par exemple, une flamme est source de chaleur ; elle émet aussi directement cette chaleur sous forme de rayonnement. Autre exemple, un convecteur électrique produit et transmet sa chaleur.

Un système de chauffage peut aussi comprendre :

- **un système de stockage de la chaleur (ou bien Cuve de stockage) :**
L'inconstance des conditions météorologiques (baisse des températures, baisse de l'éclairement, passage des nuages, ...) empêche une utilisation directe de l'eau chauffée grâce au capteur et contraint à l'utilisation de cuves de stockage parfaitement calorifugée qui permettent d'emmagasiner l'eau chaude obtenue avec le moins des pertes possibles. Pour ce faire, il convient de déterminer le volume de stockage optimal par rapport à la surface de captation puisqu'il n'est pas avantageux d'augmenter cette dernière si la cuve est petite. A contrario, un réservoir trop volumineux perd trop de chaleur et est plus difficile à réchauffer. Il faut aussi que le réservoir soit placé à l'intérieur et en un lieu proche des capteurs pour raccourcir au maximum la tuyauterie et diminuer ainsi les pertes pendant le trajet de l'eau de l'absorbeur jusqu'au lieu de stockage.
- **un ou plusieurs systèmes de transport de la chaleur (fluide caloporteur) :**
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 »).
- **La tuyauterie :** sert au transfert du fluide caloporteur. Elle doit être fabriquée à partir d'un matériau inoxydable ou être traitée pour résister à la corrosion et doit aussi calorifugé avec soin afin de diminuer les pertes thermiques pendant le transfert.

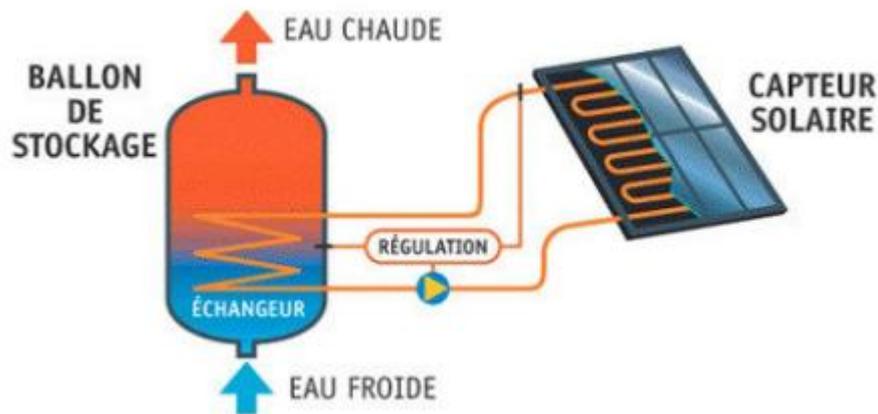


Figure II.1: schéma de principe d'une installation solaire thermique.

II.4. Isolation thermique :

L'isolant thermique est une barrière à chaleur. L'isolation thermique vise à conserver la chaleur (ou la fraîcheur) à l'intérieur des espaces de vie : l'hiver, elle empêche la chaleur de s'évacuer des logements chauffés ; l'été, elle l'empêche de pénétrer à l'intérieur. Une bonne isolation augmente donc le confort, hivers comme été, et permet de faire des économies de chauffage ou de climatisation importante.

❖ **Matériaux d'isolation :** On peut classifier les matériaux d'isolation thermique en matériaux organiques et matériaux inorganiques :

- **Matériaux organiques :** Il s'agit du chanvre, le lin, les fibres de bois, les fibres de coco, le liège, la laine de mouton, la cellulose, la perlite et les plaques en silicate de calcium.
- **Matériaux inorganiques :** Il s'agit du polystyrène (EPS, XPS), le polyuréthane, le verre cellulaire et la laine minérale.

Tableau II.1. : Comparaison entre les caractéristiques de ces deux types de matériaux d'isolation.

	Matériaux organiques	Matériaux anorganiques
Protection contre la chaleur en été	Très bonne.	Peu de protection
Protection contre l'humidité	Possible, sans effet secondaire sur les qualités isolantes.	Le XPS et le verre cellulaire sont résistants à l'humidité, la laine minérale et l'EPS y sont sensibles (baisse de l'effet isolant).
Étanchéité à la vapeur d'eau	Ne nécessitent pas d'écrans pare-vapeur transparents. Des plaques de construction en plâtre ou en bois sont suffisantes.	Étanches.
Diffusion	Très ouverts à la diffusion	Étanches.
Production	Production et maniement faciles, ne présentent pas de risques pour la santé.	Les matières plastiques sont des produits à base de pétrole, les fibres minérales sont des produits à base de verre et de pierre. Restent très coûteux et très consommateurs en énergie.
Effet isolant	Effet isolant restreint; la conductivité thermique de ces isolants est d'environ 0,04- 0,07 W m-1 K-1.	Très bons isolants ; λ environ 0,02-0,04 W m-1 K-1.

II.4.1. Différents types d'isolations :

a) Isolation thermique de la toiture :

Du fait que l'air chaud monte par convection, la couche d'isolant devra être plus épaisse dans les combles qu'au niveau des murs. Cependant, les solutions pour isoler une toiture sont :

- **Film réfléchissant** : l'isolation est faible et le produit est coûteux. Il a l'avantage de ne pas prendre de place.
- **Laine de verre** : l'isolation est moyenne et c'est un produit qui prend très peu de place.
- **Panneaux de laine de roche ou de verre** : en double épaisseur, cette solution permet d'obtenir une isolation très importante.

b) Isolation thermique des murs :

L'isolation thermique d'un mur peut se faire de plusieurs manières :

- **Isolation par l'intérieur** : c'est la technique la plus répandue. Elle implique la réduction de l'espace intérieur.
- **Isolation par l'extérieur** : c'est la technique la plus efficace. L'isolant est généralement moins épais mais cette technique est plus coûteuse.
- **Isolation intégrée** : les murs sont constitués de matériaux isolants (béton cellulaire, brique de chanvre, brique de terre cuite, etc.). Cette solution est très performante.

c) Isolation thermique des ouvertures :

Les ouvrants sont bien souvent les points faibles de l'isolation d'une habitation. Les solutions pour isoler une fenêtre sont :

- Double ou triple vitrage à faible émissivité.
 - Utiliser des encadrements épais de bonne qualité.
- ❖ Les solutions pour isoler une porte sont :
- Vérifier l'étanchéité des joints.
 - Préférer le bois qui est le meilleur isolant acoustique et thermique.
 - Ajouter de la mousse de polyuréthane (isolation thermique).

- Poser une plaque isolante (isolation thermique) : laine de bois, ouate de cellulose, laine de chanvre, laine de chanvre/bois.

II.5. Les différents systèmes de chauffage :

Le chauffage d'ambiance est destiné à assurer une température déterminée et/ou le confort dans un lieu clos ou ouvert. Plusieurs systèmes de chauffage existent :

II.5.1. Chauffage individuel ou collectif :

- a) **Chauffage individuel** : installation individuelle pour une maison, un appartement ou un immeuble.
- b) **Chauffage collectif** : installation collective couvrant les besoins de plusieurs maisons, appartements ou immeubles, les frais sont alors partagés, traditionnellement au prorata de la surface des logements, mais parfois au moyen de répartiteur de frais de chauffage.

II.5.2. Chauffage centrale ou décentralisé :

- a) **Chauffage central** : on parle de chauffage central lorsque l'on chauffe plusieurs pièces d'un immeuble ou d'une maison à partir d'un seul point de cet immeuble grâce à un générateur de chaleur, la chaudière.
- 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 de distribution.

II.5.3. 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.

II.5.3.1. 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.

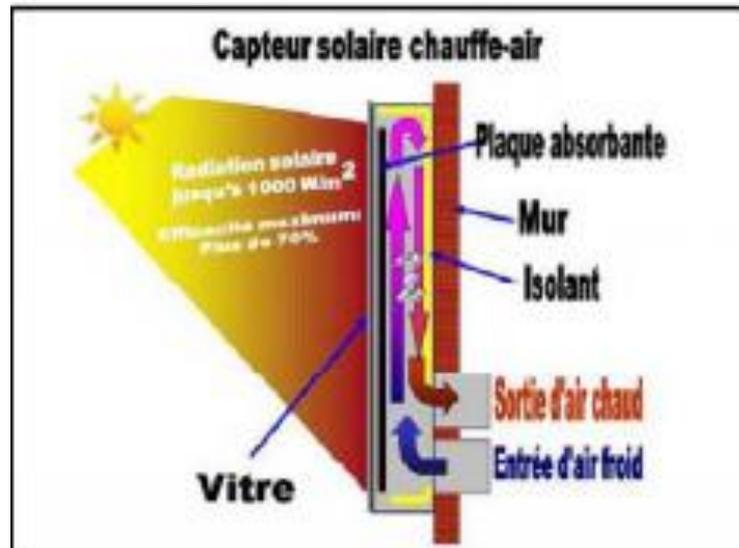


Figure II.2: Capteur solaire chauffe-air.

II.5.3.2. Les chauffe-eau solaires : [38]

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.

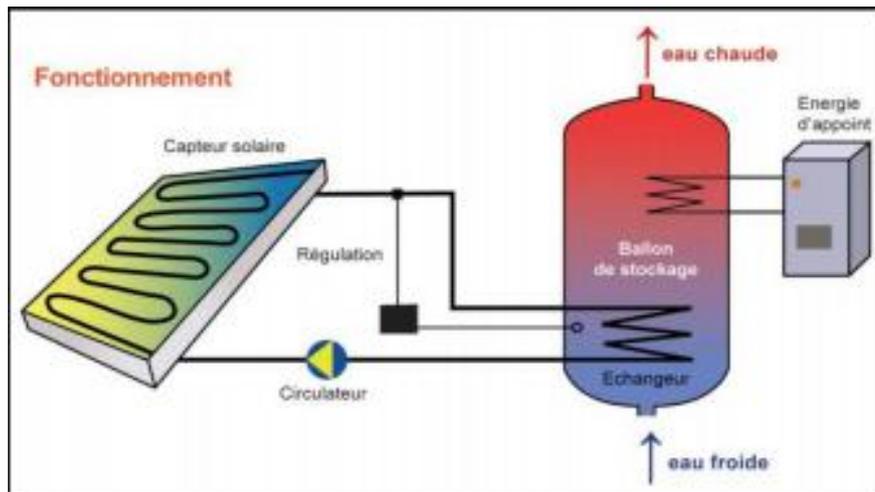


Figure II.3: Constituants du système de chauffage solaire de l'eau.

Les différents types de chauffe-eau solaire Il existe quatre types de chauffe-eau solaire : monobloc, thermosiphon, circulation forcé et auto vidange.

a) Les chauffe-eau monobloc :

Ce sont les chauffe-eau les plus simples, le ballon et le panneau solaire formant un seul ensemble, d'où leur appellation. C'est directement l'eau chaude sanitaire qui circule dans les panneaux. Réchauffée par le rayonnement solaire, l'eau devient moins dense et monte dans le ballon situé légèrement au-dessus du panneau. Il n'y a donc pas besoin de pompe. Néanmoins, le ballon d'eau chaude doit être situé à proximité immédiate du panneau en général sur la toiture ce qui pose parfois des problèmes d'esthétique et d'isolation. La chauffe eau dépasse de la toiture, et le ballon est à l'extérieur du logement, en plein vent.



Figure II.4: Chauffe eau solaire monobloc.

b) Les chauffe-eau à thermosiphon :

Pour éviter les inconvénients du système monobloc, tout en conservant les avantages et la simplicité, on peut séparer les panneaux du ballon d'eau chaude. Tant que les panneaux restent plus bas que le ballon de stockages, l'eau va pouvoir continuer à circuler naturellement par effet thermosiphon. A la sortie du panneau l'eau est plus chaude donc plus légère, et monte vers le ballon. Elle est remplacée par l'eau la plus froide du ballon, qui est plus lourde et qui descend vers le bas des panneaux.

Mais sous certains climats, on ne peut malheureusement pas faire circuler de l'eau dans les panneaux solaire toute l'année, à cause des risques de gel. Deux alternatives sont alors envisageables : les chauffe-eau à circulation forcée et fluide antigel, et les chauffe-eau à auto vidange.

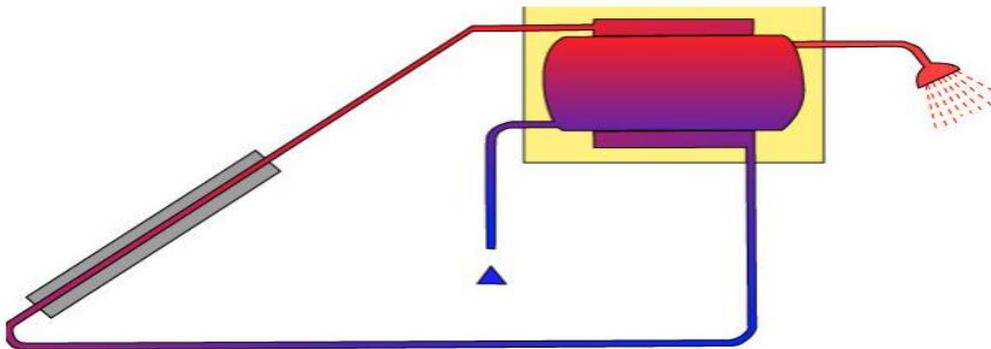


Figure II.5: Système à thermosiphon.

c) Les chauffe-eau à circulation forcée :

Les panneaux solaires seront remplis avec un fluide qui ne craint pas le gel (en général de l'eau glycolée). Comme ce fluide est impropre à la consommation et ne doit pas être mélangé avec l'eau chaude sanitaire, la chaleur sera récupérée dans le ballon à travers un échangeur. Un serpentín à l'intérieur du ballon joue ce rôle et évite tout contact entre l'eau chaude et le fluide caloporteur. Une pompe assure le transfert du fluide entre les capteurs solaires et l'échangeur. La position du ballon par rapport aux panneaux n'a plus d'importance.

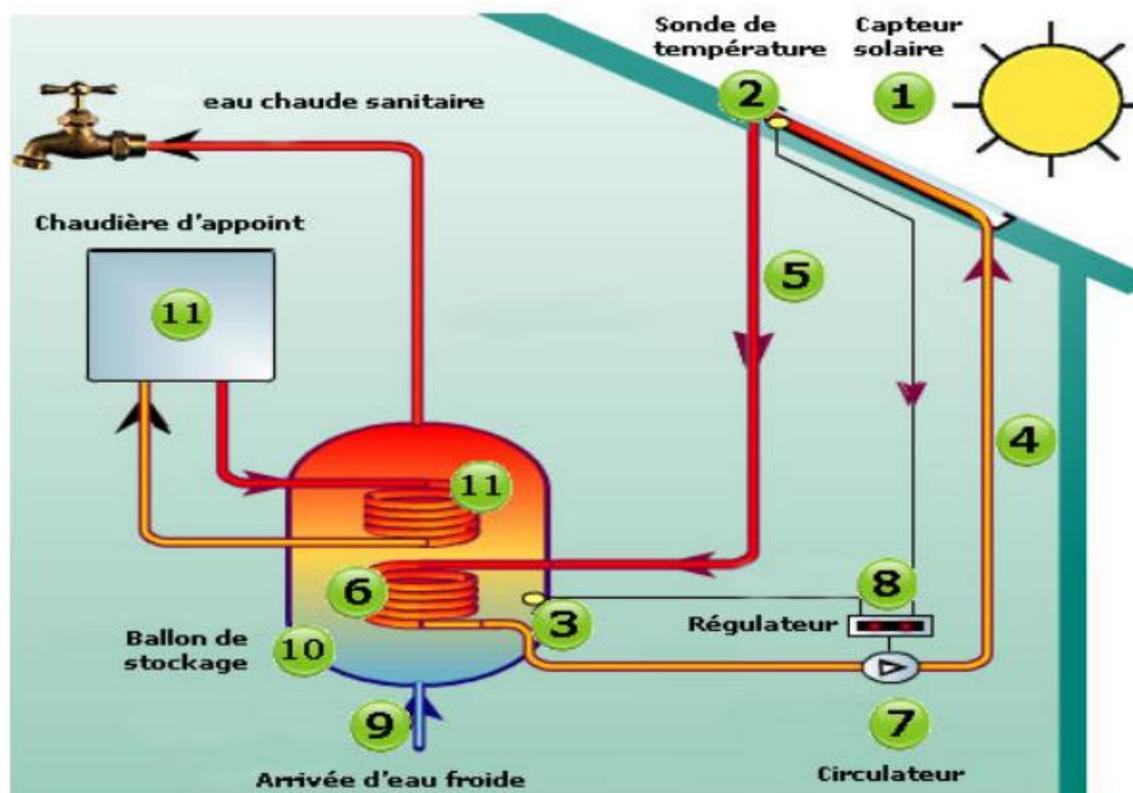


Figure II.6: Système à circulation forcée.

II.5.3.3. Système solaire combiné (SSC) : [38]

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.

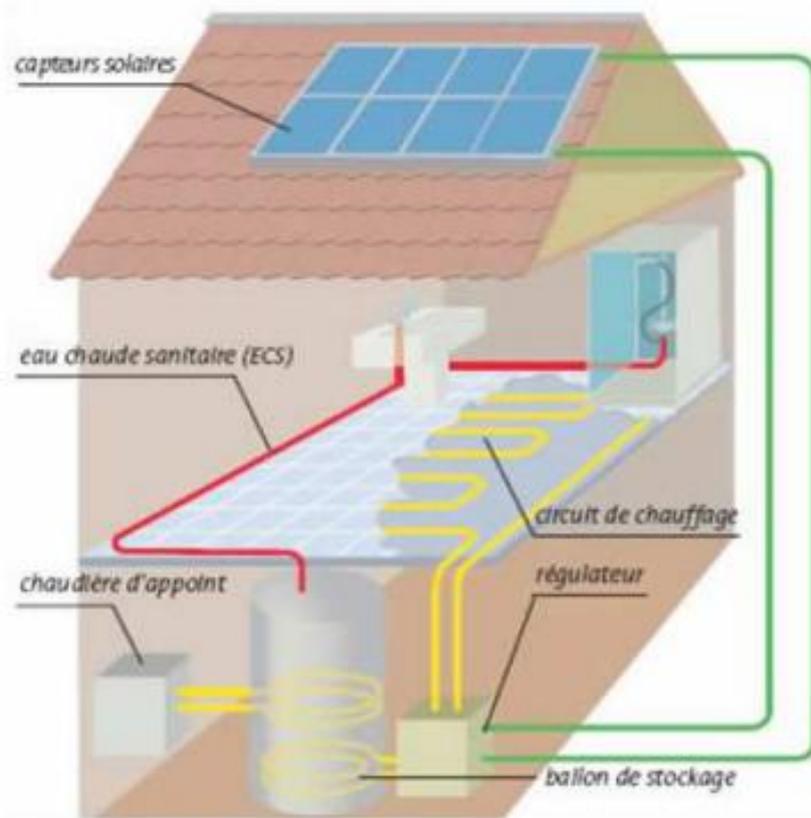


Figure II.7: Constituants du système solaire combiné (en vert : le circuit où circule l'antigel ; en jaune : le circuit où circule l'eau de chauffage sans antigel ; en rouge : le circuit d'eau chaude sanitaire).

On distingue deux types de système solaire combiné (SSC) :

a) Le système solaire combiné avec stockage de l'eau de chauffage en ballon :

Ce système est basé sur le stockage de l'eau chaude solaire dans un réservoir afin de restituer la chaleur tout au long de la journée. Il est constitué de quatre principaux éléments :

- Des capteurs solaires thermiques identiques utilisés avec un chauffe-eau solaire. Ils reçoivent le rayonnement solaire et ainsi chauffe l'eau.
- Un réservoir tampon d'eau de chauffage de grande capacité (environ 700L) intégrant la production d'eau chaude sanitaire.
- Une chaudière raccordée au réservoir pour compléter le chauffage, si besoin.
- Un ensemble de régulation. Le fluide chauffé dans les capteurs passe dans un échangeur situé dans la partie basse du ballon de stockage. L'eau froide est réchauffée

au contact de l'échangeur et lorsqu'il n'y a pas suffisamment d'ensoleillement, une sonde de température déclenche l'appoint.

b) Le plancher solaire direct (PSD):

Le principe de fonctionnement du plancher solaire direct est même que celui d'un SSC avec stockage, mais il n'utilise pas de réservoir tampon puisque c'est le plancher chauffant qui sert de réservoir. L'inertie thermique de la dalle permet de restituer la nuit, la chaleur accumulée le jour. Un ballon autonome assure la production et le stockage de l'eau chaude sanitaire. Une chaudière permet de compléter les besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire.

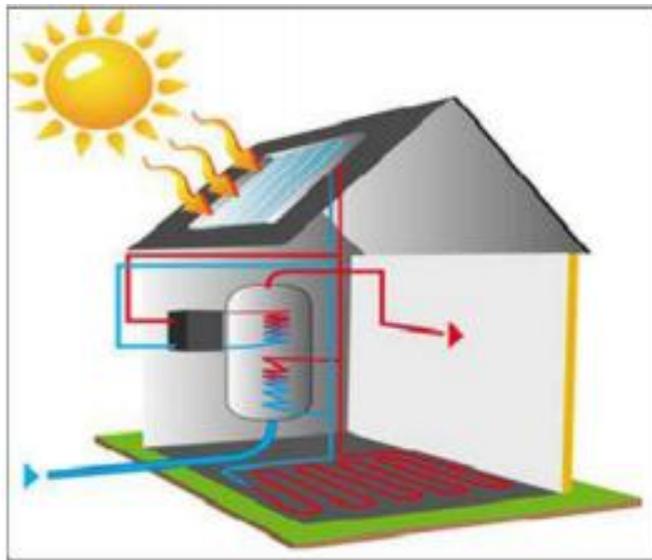


Figure II.8: Plancher solaire direct.

II.6. La définition et position du système d'appoint : [38]

Un chauffage d'appoint est un appareil de chauffage complémentaire au chauffage central de l'habitation prévu pour augmenter sensiblement la température de la pièce où il est placé. Les chauffages d'appoint fonctionnent avec différentes énergies fossiles tel le gaz, le pétrole, le bioéthanol ou plus communément l'électricité.

On considère en généralement quatre positions du système d'appoint par rapport au stockage :

- Dans le stockage.
- En série avec le stockage.

- En parallèle avec le stockage.
- Complètement séparé du système solaire

II.6.1. Appoint dans le stockage :

Cette disposition est dextrement défavorable est devra être évitée autant que possible, mais a part le cas où la cuve est réellement stratifiée et l'appoint est situé en partie haute que l'on peut considérer, en première approximation, comme un ballon en série avec le ballon solaire, ce dispositif est limité à l'appoint de type électrique par résistance thermo statée et utilisé presque exclusivement pour les chauffe-eau solaire

II.6.2. Appoint en série avec le stockage :

C'est une solution peu chère, et à la régulation simple. L'inconvénient majeur de la mise en série de l'appoint et du stock est que l'eau des retours chauffage va maintenir le stock à des températures qui ne permettront pas de récupérer le maximum d'énergie solaire. En d'autres termes, selon le type de distribution adopté, la température du stock ne descendra jamais sous la température des retours chauffages, mis à part les pertes du stockage. A titre de sécurité on peut prévoir des dispositifs (by-pass du ballon solaire par exemple) permettant d'éviter des retours à température excessive dans le stock.

II.6.3. Appoint en parallèle avec le stock :

L'appoint en parallèle avec le stock est une solution performante :

- Il ne fonctionnera que lorsque le stock ne pourra rien fournir
- Pas de problème de température de retour
- Un seul et unique système de distribution des calories
- Par contre, ce système nécessite une régulation soignée.

II.6.4. Appoint complètement séparé :

Ce système présente les meilleures performances thermiques. Il permet une bonne utilisation des calories solaires, mais il demande deux dispositifs distincts pour distribuer les calories. Les ventilo-convecteurs (solaire) avec résistance électrique terminale rentrant dans cette catégorie, l'électricité est presque toujours employée dans ce cas, vu son faible coût relatif

d'installation. Néanmoins, une régulation soignée s'impose pour donner toujours la priorité aux surfaces de chauffage alimentées en calories solaire.

II.7. Etude thermique d'une installation de chauffage solaire : [25]

II.7.1. Bilan d'énergie d'un capteur solaire :

La figure II.9 représente les transferts thermiques dans un capteur plan d'une part, dans le capteur lui-même (entre ses différents éléments) et d'autre part, entre le capteur et le milieu extérieur.

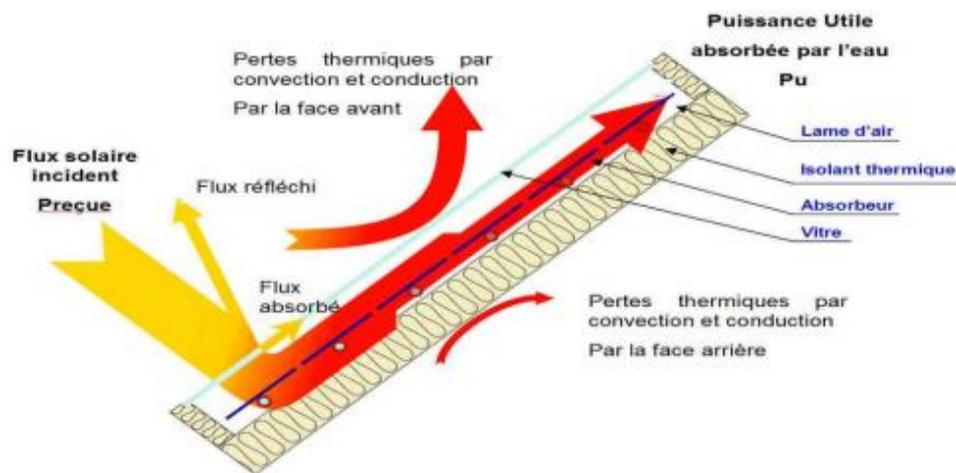


Figure II.9: Les transferts thermiques dans le capteur plan.

On commence par établir les bilans thermiques dans chaque composant du capteur.

II.7.1.1. L'Absorbteur :

Le bilan de chaleur dans la plaque absorbante s'écrit ainsi :

$$Q_{st} = Q_{ab,a} - Q_{a \rightarrow e} - Q_{a \rightarrow c} \quad (II.1)$$

Avec :

$Q_{a \rightarrow c}$: Flux de chaleur transféré à la couverture transparente; (W).

$Q_{a \rightarrow e}$: Flux de chaleur transfère à l'eau; (W).

Q_{st} : Flux de chaleur stocké; (W).

$Q_{ab,a}$: Flux de chaleur absorbé; (W).

a) Le flux transféré à la couverture transparente :

Le flux thermique transféré à la couverture transparente s'effectue par convection et par rayonnement.

$$Q_{a \rightarrow c} = (h_{r,a \rightarrow c} + h_{c,a \rightarrow c}) S_{pa} (T_{pm} - T_{cm}) \quad (\text{II. 2})$$

Avec :

T_{pm} : La température moyenne de la plaque absorbante; (K).

T_{cm} : La température moyenne de la couverture transparente; (K).

S_{pa} : La surface de la plaque absorbante ;(m^2).

$h_{r,a \rightarrow c}$: Le coefficient de transfert thermique par rayonnement entre la plaque absorbante et la couverture transparente, exprimé en ($W/m^2.K$), et donné par la relation suivante :

$$h_{r,a \rightarrow c} = \frac{\sigma(T_{pm}^2 + T_{cm}^2)(T_{pm} + T_{cm})}{\frac{1}{\varepsilon_a} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad (\text{II. 3})$$

σ : Constante de Stephan-Boltzmann ($\sigma = 5.675 * 10^{-8} W/m^2 . K^4$).

ε_p : L'émissivité de la plaque absorbante.

ε_c : L'émissivité de la couverture transparente.

$h_{c,a \rightarrow c}$: Le coefficient de transfert thermique par convection entre la plaque absorbante et la couverture transparente, exprimé en($W/m^2 . K$). Le coefficient de convection entre deux plans parallèles inclinés est donné par la formule suivante :

$$h_{c,a \rightarrow c} = \frac{\lambda_a \times \overline{Nu}}{e_v} \quad (\text{II. 4})$$

Avec :

$$\overline{Nu} = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708(\sin(\beta))^{1.6}}{Ra \cdot \cos(\beta)} \right] \cdot \left[1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos(\beta)} \right] - \left(\frac{Ra \cdot \cos(\beta)}{5830} \right)^{1/3} - 1 \quad (\text{II. 5})$$

Avec :

\overline{Nu} : Nombre de Nusselt.

λ_a : Conductivité thermique de l'air entre les plans ; ($W/m \cdot K$).

e_v : L'espace entre les deux; (m).

β : L'angle d'inclinaison des deux plans; (*Degré*).

Ra : Le critère de Rayleigh, donné par la relation suivante :

$$Ra = \frac{g \cdot \rho_a \beta' \Delta T \cdot e_v}{\mu_d \cdot \lambda_a} \quad (\text{II. 6})$$

Avec :

g : Gravité ; ($m \cdot s^{-2}$).

β' : Coefficient de dilatation thermique (pour les gaz ($\beta' = 1/T$)) ; (K^{-1}).

ΔT : L'écart de température entre les deux plaques ; (K).

μ_d : viscosité dynamique ; ($pa \cdot s$).

b) Le flux thermique transféré à l'eau :

La puissance utile est la puissance transmise au fluide caloporteur, elle est donnée par la relation suivante :

$$Q_{a \rightarrow c} = h_{a \rightarrow e} S_{pa} (T_{pm} - T_{fm}) \quad (\text{II. 7})$$

Avec :

$h_{a \rightarrow e}$: Le coefficient de convection de l'absorbeur vers l'eau ; ($W/m \cdot K$)

T_{fm} : La température moyenne de fluide caloporteur ; (K).

c) Le 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 :

$$Q_{st,a} = M_a \cdot C_{pa} \frac{dT_{pm}}{dt} \quad (\text{II. 8})$$

M_a : La masse de la plaque absorbante ; (kg).

C_{pa} : La capacité calorifique de la plaque absorbante ; ($J/kg.K$).

d) Le flux de chaleur absorbé:

Le flux de chaleur absorbé a pour expression :

$$Q_{ab,a} = \tau_{cr} \cdot \alpha_{pa} \cdot G^*_t \cdot S_{pa} \quad (\text{II. 9})$$

Avec :

τ_{cr} : Coefficient de transmission de la couverture transparente par rapport au rayonnement solaire.

α_{pa} : Coefficient d'absorption de la paroi absorbante des rayonnements solaires.

G^*_t : Éclairement (densité de flux) solaire incident sur le capteur ; (W/m^2).

e) L'équation finale du bilan thermique au niveau de l'absorbeur :

L'équation finale du bilan thermique au niveau de l'absorbeur s'écrit alors :

$$M_a \cdot C_{pa} \frac{dT_{pm}}{dt} = \tau_{cr} \cdot \alpha_{pa} \cdot G^*_t \cdot S_{pa} - (h_{r,a \rightarrow c} + h_{c,a \rightarrow c}) \cdot (T_{pm} - T_{cm}) S_{pa} - h_{a \rightarrow e} S_{pa} (T_{pm} - T_{fm}) \quad (\text{II. 10})$$

II.7.1.2. La couverture transparente:

Le bilan d'énergie dans la couverture transparente est :

$$Q_{st} = Q_{ab,c} + Q_{c \rightarrow a} - Q_{c,a} - Q_{r,a} \quad (\text{II. 11})$$

$Q_{ab,c}$: 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 :

$$Q_{ab,c} = \alpha_{\infty} G_t^* S_c \quad (\text{II. 12})$$

Avec :

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

S_c : Surface de couverture transparente; (m^2).

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

Ce flux de chaleur transféré est égale à :

$$Q_{c \rightarrow a} = S_c (h_{r,a \rightarrow c} + h_{c,a \rightarrow c}) (T_{pm} - T_{cm}) \quad (\text{II. 13})$$

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

Ce flux de chaleur échangé est égale à :

$$Q_{c,a} = h_{c,a} S_c (T_{cm} - T_a) \quad (\text{II. 14})$$

Avec :

$$h_{c,a} = 5.67 + 3.86.V \quad (\text{II. 15})$$

$h_{c,a}$: Convection de la couverture transparente vers l'atmosphère; ($W/m^2 \cdot K$).

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 :

$$Q_{r,a} = h_{c,r} S_c (T_{cm} - T_c) \quad (\text{II. 16})$$

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

$$h_{c,r} = \varepsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_{cm} + T_c)(T_{cm}^2 + T_c^2) \quad (\text{II. 17})$$

Et T_c : température du ciel est donnée par la relation suivante [25]:

$$T_c = 0.0552 \cdot T_a^{1.5} \quad (\text{II. 18})$$

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 :

$$Q_{st} = M_c \cdot C p_c \frac{dT_{cm}}{dT} \quad (\text{II. 19})$$

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 :

$$M_c \cdot C p_c \frac{dT_{cm}}{dt} = \alpha_\infty \cdot G^* \cdot S_c - (h_{r,a \rightarrow c} + h_{c,a \rightarrow c}) \cdot (T_{pm} - T_{cm}) S_c - h_{c,r} \cdot S_{pa} (T_{cm} - T_c) - h_{c,a} \cdot S_c (T_{cm} - T_a) \quad (\text{II. 20})$$

II.7.1.3. Bilan énergétique du fluide caloporteur :

Bilan énergétique du fluide caloporteur est :

$$Q_{st.f} = Q_{a \rightarrow pa} - Q_p - Q_u \quad (\text{II. 21})$$

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

Q_u : La chaleur utile; (W).

Q_p : Les pertes thermiques; (W).

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

a) L'énergie utile:

Ce flux de chaleur égale a :

$$Q_u = \dot{m}_{fc} C p_{fc} (T_{fs} - T_{fe}) \quad (\text{II. 22})$$

$T_{fs} - T_{fe}$: 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 :

$$Q_{a \rightarrow pa} = h_{a \rightarrow e} S_{pa} (T_{pm} - T_{fm}) \quad (\text{II. 23})$$

c) L'énergie perdue :

Ce flux de chaleur est égal a :

$$Q_p = K_p S_{pa} (T_{fm} - T_a) \quad (\text{II. 24})$$

Avec :

$$K_p = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_{is}}{\lambda_{is}} + \frac{1}{h_e}} \quad (\text{II. 25})$$

Avec :

h_i, h_e : Coefficient de convection.

d) L'énergie stockée:

Ce flux de chaleur est égal :

$$Q_{st,f} = m_{fc} \cdot Cp_{fc} \frac{dT_{fm}}{dt} \quad (\text{II. 26})$$

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 :

$$M_{fc} \cdot Cp_{fc} \frac{dT_{fm}}{dt} = h_{a \rightarrow e} S_{pa} (T_{pm} - T_{fm}) - m_{fc} \cdot Cp_{fc} (T_{fs} - T_{fe}) - K_p \cdot S_{pa} (T_{fm} - T_a) \quad (\text{II. 27})$$

II.7.1.4 . Le bilan énergétique dans le réservoir :

Le bilan énergétique dans le réservoir est :

$$Q_{st,r} = Q_u - Q_b - Q_{per} \quad (\text{II. 28})$$

Avec :

$Q_{st,r}$: 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 :

$$Q_{st,f} = m_{fr} \cdot Cp_{fr} \frac{dT_{fr}}{dt} \quad (\text{II. 29})$$

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 :

$$Q_u = \dot{m}_{fc} \cdot Cp_{fc} \cdot (T_{fs} - T_{fe}) \quad (\text{II. 30})$$

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

$$Q_{per} = K_{pr} \cdot S_r (T_{fr} - T_a) \quad (\text{II. 31})$$

Avec :

K_{pr} : Le coefficient de transfert thermique à travers la paroi de réservoir; ($W/m^2.K$).

S_r : La surface extérieure du réservoir; (m^2).

d) Equation finale du reservoir:

$$m_{fr} \cdot Cp_{fr} \frac{dT_{fr}}{dt} = \dot{m}_{fc} \cdot Cp_{fc} \cdot (T_{fs} - T_{fe}) - Q_b - K_{pr} \cdot S_r \cdot (T_{fr} - T_a) \quad (\text{II. 32})$$

II.8. Contrôle d'humidité :

Le système de chauffage permet aussi de contrôler le taux d'humidité de l'air dans un bâtiment. Contrairement à certaines croyances, le taux d'humidité de l'air n'est pas dépendant du type de chauffage installé, c'est-à-dire des types d'unités servant à chauffer l'air ambiant tels des radiateurs à vapeur, radiateurs à eau chaude ou radiateurs électriques, ainsi que des matériaux qui composent les murs, ou qui se retrouvent dans le bâtiment. Ce taux d'humidité dépend principalement de trois phénomènes :

- les sources intérieures de vapeur d'eau (cuisine, vapeur d'eau chaude dans les salles de bain).
- l'augmentation de la température de l'air ambiant selon ce principe physique : lorsqu'il y a augmentation de la température de l'air, le taux d'hygrométrie (taux d'humidité relative) diminue.

- un autre phénomène, responsable de la diminution du taux d'humidité est lié à la vitesse de renouvellement de l'air, due à l'entrée de l'air extérieur au travers des parois et ouvertures du bâtiment et à la présence d'une éventuelle VMC (ventilation mécanique contrôlée) . Sans VMC, ce taux de renouvellement sera d'autant plus grand que le différentiel des températures de l'air extérieur et intérieur du bâtiment est élevé (par convection thermique).

D'ailleurs, c'est avec ce taux de renouvellement et la vitesse à laquelle ce changement se produit que l'on peut calculer le volume d'air extérieur qui s'infiltré dans le bâtiment.

Pour assurer un taux constant d'humidité dans le bâtiment, il peut être utile d'installer un système d'injection de vapeur d'eau, soit par vaporisation ou par évaporation ou sous la forme de vapeur. Il est important d'utiliser une bonne qualité d'eau, car les impuretés se retrouveront inévitablement dans l'air ambiant. Inversement pour abaisser le taux d'humidité intérieur, on peut accroître le débit de la ventilation mécanique contrôlée (VMC) afin d'accélérer l'extraction d'air humide.

Le taux d'humidité idéal doit aussi être défini en fonction de la composition architecturale des murs et de leur résistance thermique, ainsi que la localisation d'éventuels coupe-vapeur. Si un taux d'hygrométrie trop élevé est maintenu, il se produira une condensation sur les parois froides si leur température est égale ou inférieure à la température du point de rosée. C'est ce que l'on peut souvent observer sur des vitrages mal isolés (non doublés).

Un taux d'humidité trop élevé peut aussi être la cause de ruissellements d'eau, pris à tort comme ayant pour origine une fuite dans un toit, mais qui sont en réalité dus à la condensation qui se produit dans les combles ou sur des murs froids à partir de l'humidité excessive contenue dans l'atmosphère interne du bâtiment. De la même façon, il se produit parfois une condensation sur les vitres d'une pièce.

L'apparition de champignons à la surface d'un mur extérieur peut aussi être causée par l'humidité interne du bâtiment. Ainsi, il est utile de prendre garde à réguler le taux d'humidité de l'air contenu dans un bâtiment si l'on veut se prémunir des dommages observés dans les bâtiments (principalement rénovés) que leurs constructeurs n'ont pas équipés suivant les précautions d'usages afin d'y maintenir un taux d'humidité adéquat.

II.9. Aspect économique [37] :

Les rayons du soleil constituent une formidable source d'énergie gratuite. Il est tout à fait possible d'exploiter cette énergie solaire pour produire de la chaleur. C'est une solution qui offre de nombreux avantages et permet de dégager certaines économies.

Sur le long terme, les prix du charbon, du gaz naturel et du pétrole augmentent avec l'épuisement de la ressource. Le solaire apporte une source virtuellement inépuisable d'énergie et la commission européenne pour les énergies renouvelables prévoit que l'énergie solaire représentera une proportion de 20 % dans les énergies renouvelables, celles-ci devant apporter 20 % de l'énergie en 2020 et 50 % en 2040. Les systèmes de production d'énergie solaire ont un coût proportionnel quasi-nul : il n'y a pas de combustible, seulement des frais (entretien, gardiennage, réparation...) qui dépendent très peu de la production. Il faut cependant tenir compte des coûts d'investissement, beaucoup plus élevés que pour les techniques fossiles ou les autres renouvelables (éolien, hydraulique...). L'usage de capteurs thermiques permet de produire de l'eau chaude sanitaire à faible coût. Une fois l'installation réalisée, l'entretien est très peu coûteux et permet de faire des économies substantielles de combustible fossile ou d'électricité.

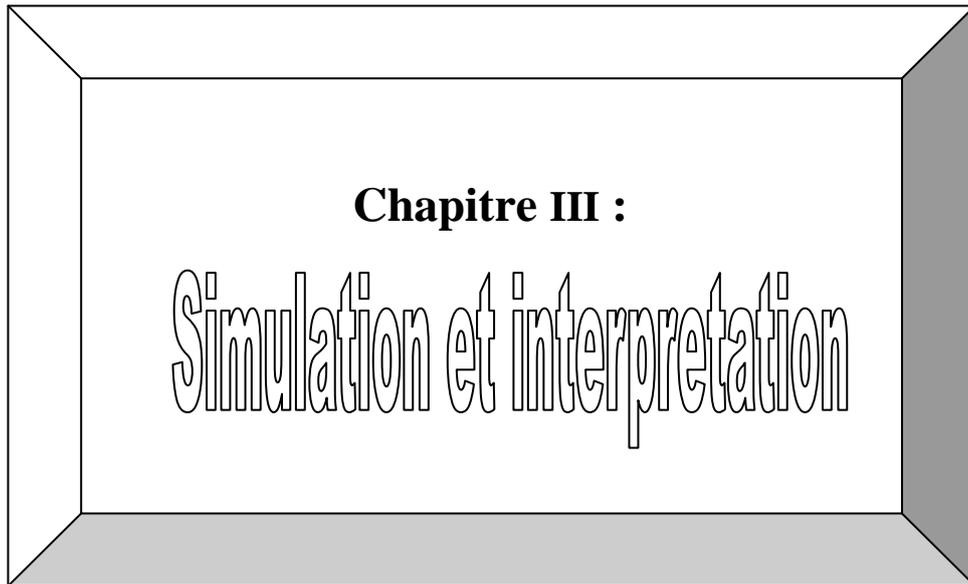
L'énergie solaire, elle est disponible partout à la surface du globe, en quantité égale dans l'année, et a un bon rendement grâce à la technologie actuelle. Elle est de plus facile à exploiter. Elle semble être l'énergie la plus prometteuse pour l'avenir.

II.10. Aspect écologique :

Longtemps utilisées, les énergies fossiles comme le fioul, le gaz naturel ou le propane ont tendance à disparaître avec la prise de conscience environnementale. En effet, les énergies fossiles émettent une grande quantité de gaz à effet de serre et sont onéreuses car leur prix est fixé en fonction de l'évolution du marché. En revanche, les énergies renouvelables, qui sont issues de l'exploitation du vent, du soleil, de l'eau ou bien de la chaleur terrestre, sont des énergies inépuisables. Se chauffer aux énergies renouvelables c'est se chauffer écologique, économique et confortable.

Conclusion :

La chauffage est un moyen de maintenir l'air à des conditions déterminées de température et d'humidité au moyen d'une circulation qui permet de régénérer l'air ambiant dans un espace fermé ,et tous les systèmes que on a présenté dans ce chapitre (SSC+, ECS,...) nous pouvant les installées mais chaque un dépende du système fermé et des perturbations externe , Il utilise une énergie propre en plus de diminuer considérablement le coût de votre facture d'énergie c'est-à-dire un bon confort avec moins d'énergie consommé.



Chapitre III :
Simulation et interprétation

- **dans ce chapitre on va faire une étude comparative entre deux systèmes solaires : système solaire combiné et le même système doté de piscine. Durant cette étude on va examiner trois types de résultats en ce basant sur trois bilans différents, bilan thermique, bilan écologique et en fin un bilan économique. en utilisant l'outil nommé GETSOLAR.**

Introduction :

L'objectif de ce chapitre est de faire une étude comparative entre deux systèmes solaires : système solaire combiné et le même système doté de piscine. Durant cette étude on va examiner trois types de résultats en ce basant sur trois bilans différents, bilan thermique, bilan écologique et en fin un bilan économique. Avant cela, on va présenter le logiciel utilisé nommé GETSOLAR.

III.1.Présentation générale du logiciel GET SOLAR [40] :

GETSOLAR 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 chargé) 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.

III.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.

III.3. Paramètres du système « système solaire combiné » :

Les paramètres des deux systèmes le premier « système solaire combiné » et le deuxième « système solaire combiné plus une piscine » sont les suivants (figures III.1 et III.2) : les paramètres de températures (eau froide 10°C, eau chaude 50°C, minimale 45°C, 70°C maximale et la température de piscine 28°C), une consommation de 4.65kwh/jour, profil de consommation, volume1 (part de l'eau de chauffage) 850 litres et volume 2 (part de l'eau chaude sanitaire) 150 litres et le volume du réservoir de la piscine, ensuite énergie conventionnelle pour chauffage d'appoint ...

Figure III.1: Paramètres de température et de consommation de réservoir pour les deux systèmes.

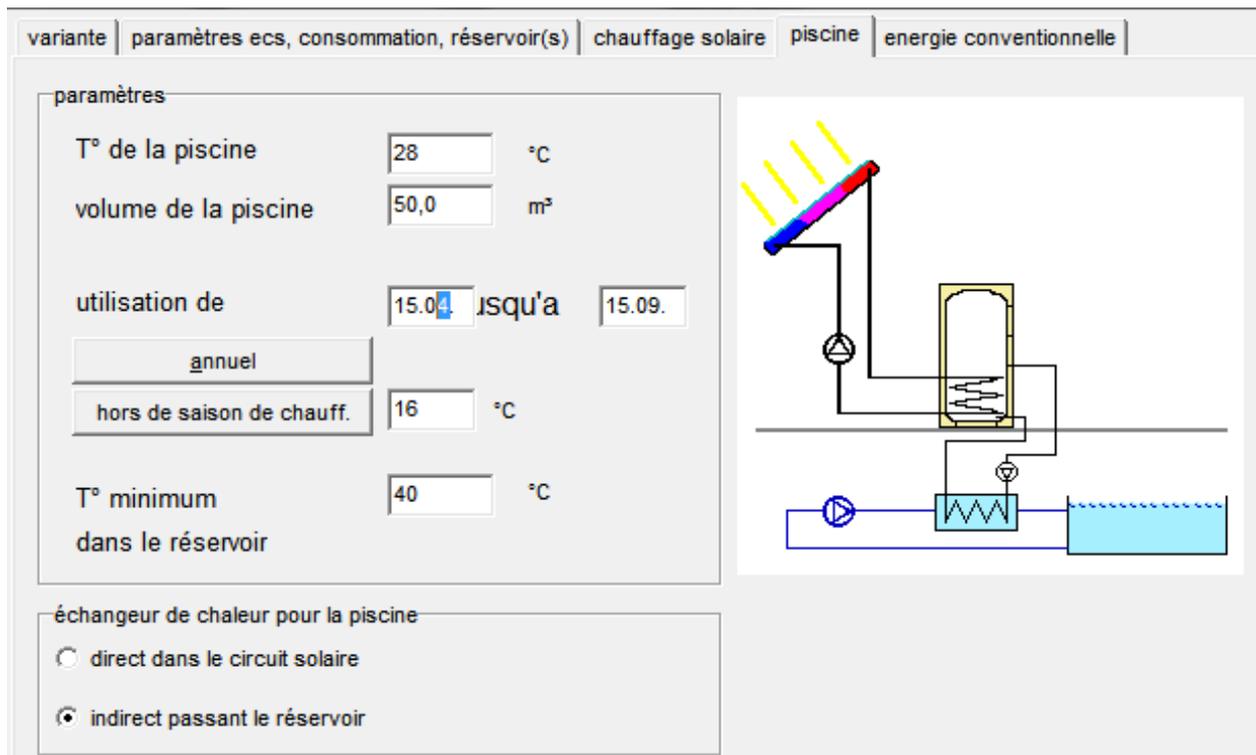


Figure III.2 Paramètres de température et le volume de la piscine.

L'énergie conventionnelle pour le chauffage d'appoint pour les deux systèmes étudiés utilise une chaudière au gaz naturel avec bruleur atmosphérique (figure III.3) dont la consommation est de 10 kWh par unité et une émission du gaz carbonique de 1.9kg de CO₂ par unité.

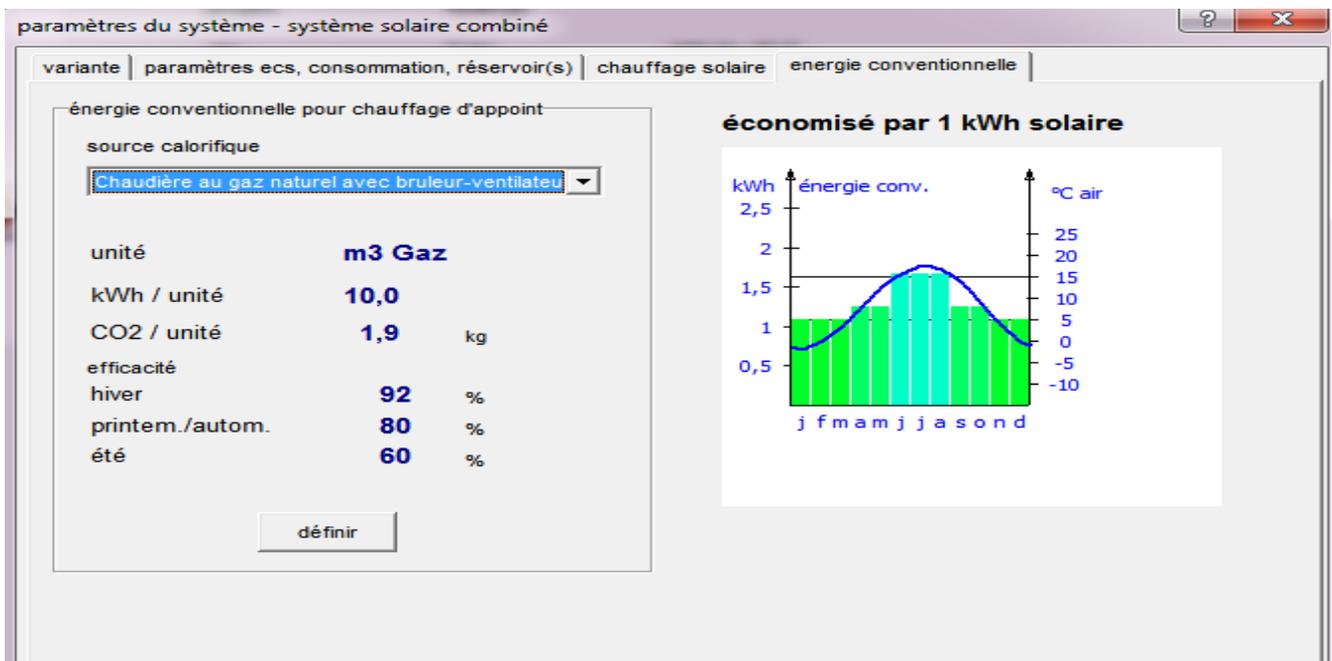


Figure III.3 : Paramètres de la chaudière à gaz naturel avec brûleur atmosphérique pour les deux systèmes étudié (énergie conventionnelle pour chauffage d'appoint).

L'économie d'énergie par 1kwh solaire pour les deux systèmes étudiés pendant toute l'année est donnée par la figure III.4. On constate une économie d'énergie maximale correspondante aux mois de juin, juillet, aout, qui vaut 1.8KWh d'énergie conventionnelle économisée et qui correspond à une température de l'air extérieur de 15°C.

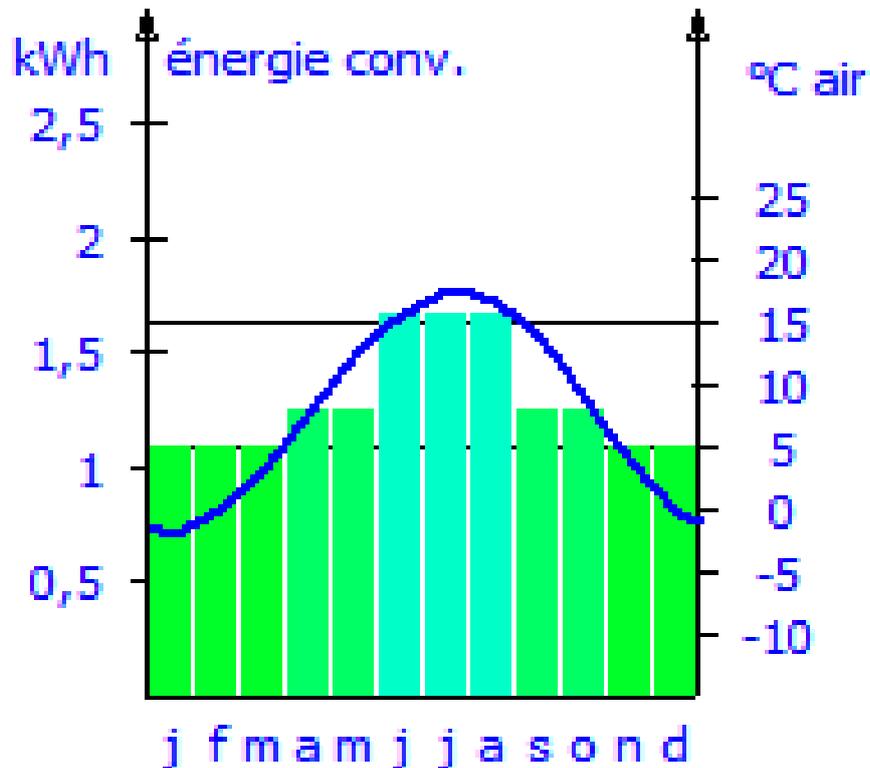


Figure III.4 : Energie économisée par KWh solaire.

III.4.1 : Paramètres du capteur et le circuit solaire:

Les paramètres du capteur sont essentiellement (figure III.5) pour les deux systèmes étudiés: la surface de captation de 15m², une inclinaison de 45°, et azimut de 0° (capteur orienté plein sud).

capteur

surface	<input type="text" value="15,00"/>	<input type="button" value="↑"/> <input type="button" value="↓"/>	m ²
inclinaison	<input type="text" value="45,0"/>	<input type="button" value="↑"/> <input type="button" value="↓"/>	°C
azimut	<input type="text" value="0,0"/>	<input type="button" value="↑"/> <input type="button" value="↓"/>	Grad

capteurs Est-Ouest

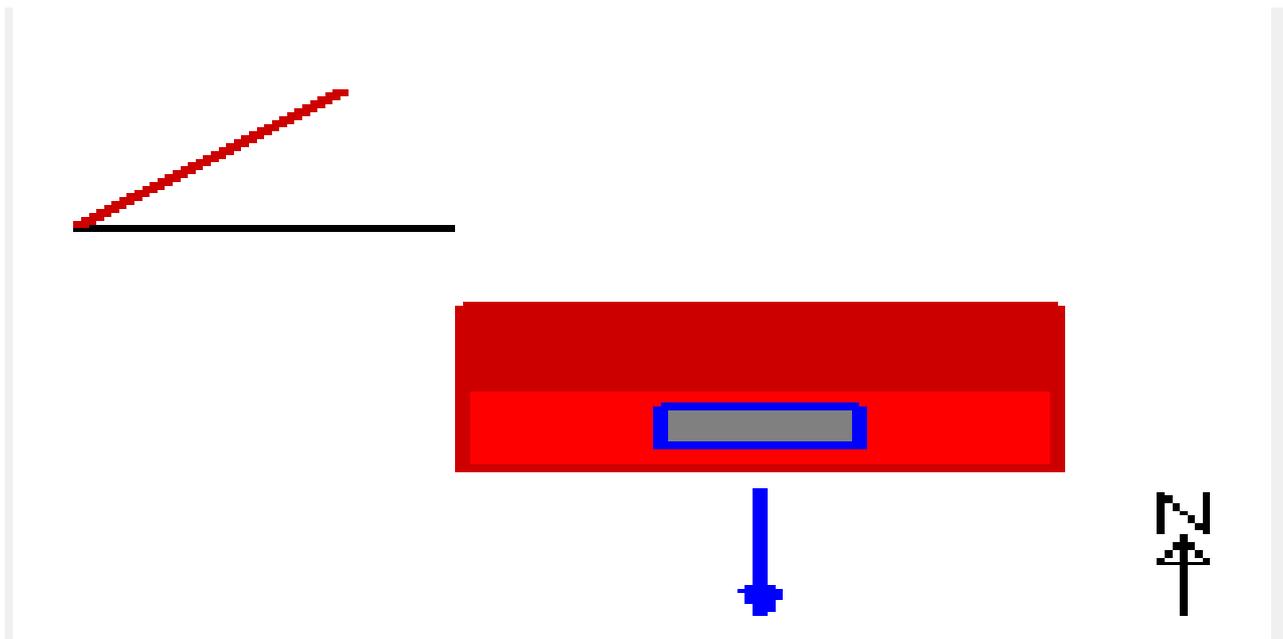


Figure III.5: Paramètres du capteur.

Les paramètres du circuit solaire pour les deux systèmes étudiés sont donnés par (la figure III.6). Ces paramètres sont : des tubes en cuivre de 18mm de diamètre, une longueur de 13m, assurant un débit volumique de 750 litres /h, et un coefficient d'échange thermique de $60W/(m^2K)$ pour l'échangeur.

circuit solaire

longueur mètres

type de tubes

débit volumique l/(m2h)
 = **750** litres/h

échangeur réservoir W/K (m²)

Figure III.6. : Paramètres du circuit solaire.

III.4.2 : Le profil de la consommation :

Cette consommation journalière est répartie sur 04 tranches (voir figure III.7) :

De minuit a 06h de matin elle varie entre 0% et 2 %, (entre 0 et 06litres) ;

De 06h a midi elle varie entre 2% et 10%, (entre 6 et 30 litres) ;

De midi a 18h elle varie entre 3% et 9%, (entre 9 et 27 litres) ;

De 18h a minuit elle varie entre 2% et 9%, (entre 6 et 27litres) ;

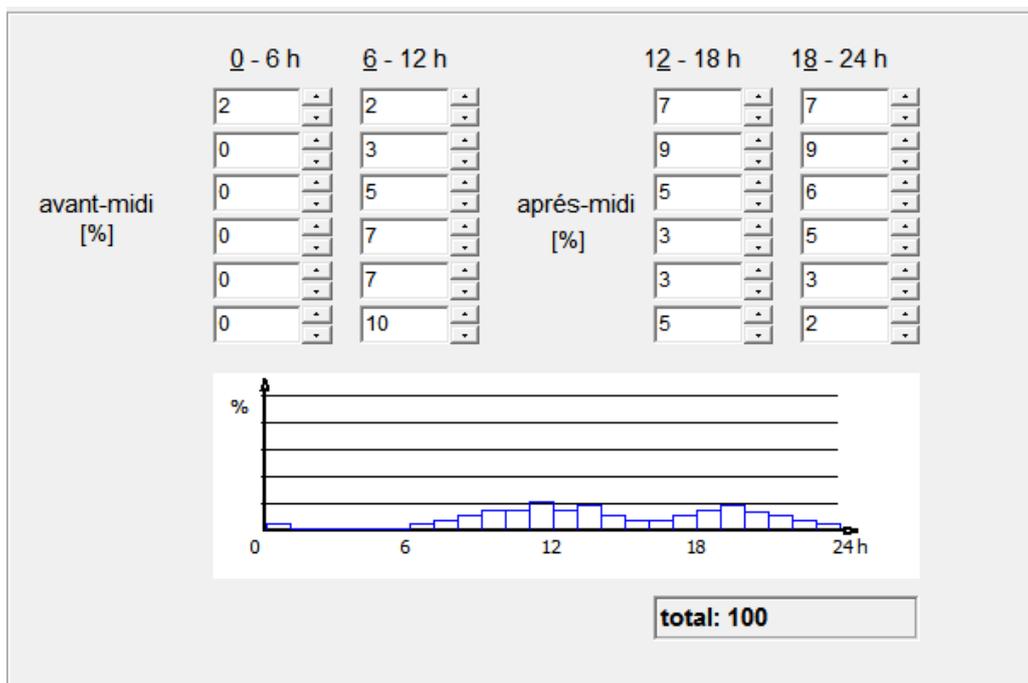


Figure III.7: La consommation journalière ECS.

III.5 : Etude de l'installation solaire :

L'installation à étudier est donnée par les figures (III.8) et (III.9), le premier système est constitué d'un réservoir connecté avec la chaudière pour rajouter l'énergie d'appoint en cas de nécessité il est aussi connecté directement avec le capteur solaire sans oublier le circuit d'eau chaude sanitaire ainsi que ce du chauffage et pour le deuxième système on a la même installation on ajoutant une piscine.

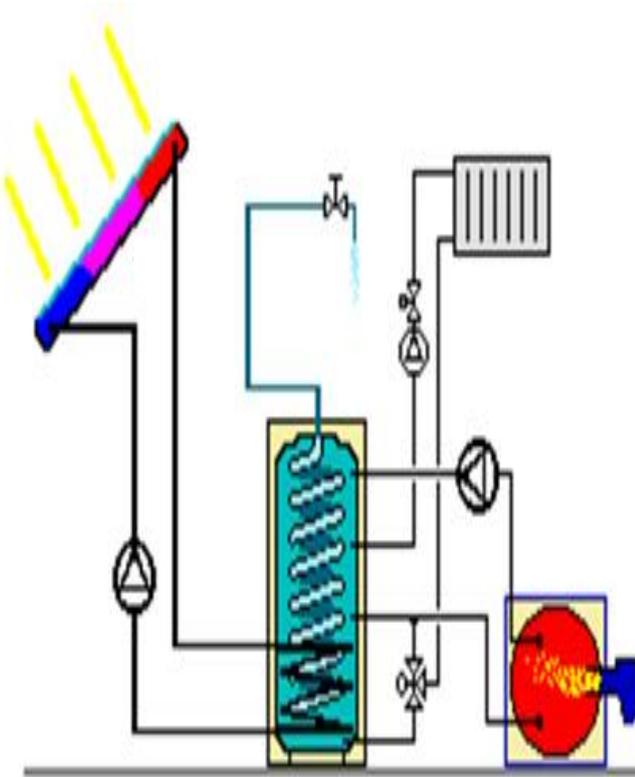


Figure III.8: Schéma de l'installation du système solaire combiné.

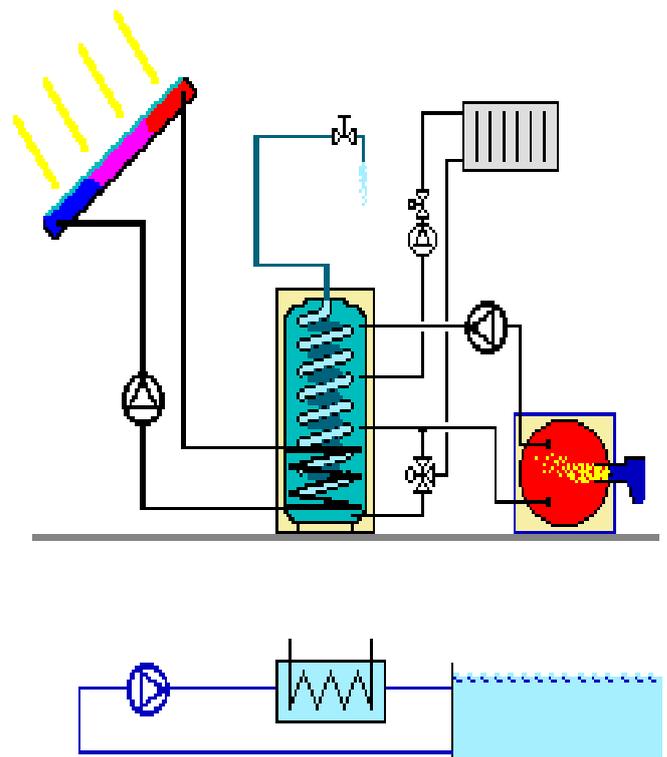


Figure III.9: Schéma de l'installation du système solaire combiné avec piscine.

III.6 : Dépouillement des résultats de la simulation

III.6.1 : Taux de couverture et rendement :

Les figures (III.10) , (III.11) donnent les taux des couvertures de l'ordre de 201% avec un rendement de 24% pour le premier système et un taux de couverture de 308% avec un rendement de 35% pour le deuxième système durant une année.

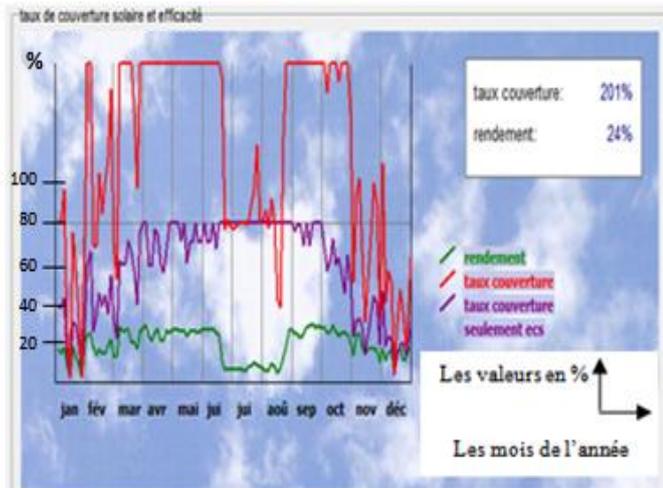


Figure III.10: Taux de couverture et le rendement pour une année(SSC).

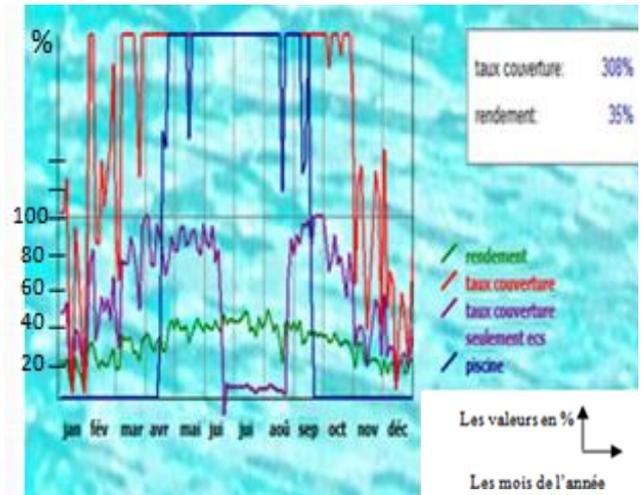


Figure III.11: Taux de couverture et le rendement pour une année (SSC +piscine).

III.6.2.Bilan énergétique :

Les tableaux (III.1) , (III.2) et les figures (III.12),(III.13) donnent l'apport solaire, l'irradiation sur le capteur, énergie d'appoint, taux de couverture et le rendement de chaque mois avec un rapport spécifique annuel du capteur de valeur 288KWh/m² pour le premier système et une valeur de 422 kWh/m² pour le deuxième système.

Tableau III.1: Bilan énergétique de SSC.

Mois	Apport solaire [KWh]	Chauff solaire* [kWh]	Irradiation énergie		Taux de couverture		Rendement [%]
			Capteurs [kWh]	D'appoint [kWh]	ECS [%]	Chauf [%]	
Janvier	113	60	627	117	31	2	18
Février	222	139	990	79	51	4	22
Mars	466	334	1533	43	75	12	30
Avril	596	445	1913	22	87	22	31
Mai	709	538	2167	14	93	41	33
Juin	450	265	2280	7	97	52	20
Juillet	210	0	2329	0	100	0	9
Aout	318	119	1991	1	99	45	16
Septembre	651	479	1945	7	96	42	33
Octobre	365	246	1195	56	68	11	31
Novembre	139	79	646	105	36	3	22
Décembre	81	42	458	123	24	1	18
Total	4319	2746	18076	574	73	11	24

Tableau III.2: Bilan énergétique du SSC + piscine.

Mois	Apport solaire [KWh]	Chauff solaire* [kWh]	Irradiation énergie		Taux de couverture		Rendement [%]
			Capteurs [kWh]	D'appoint [kWh]	ECS [%]	Chauf [%]	
Janvier	113	60	627	117	31	2	18
Février	222	139	990	79	51	4	22
Mars	466	334	1533	43	75	12	30
Avril	661	227	1913	28	84	11	35
Mai	869	12	2167	21	88	1	40
Juin	958	9	2280	99	42	2	42
Juillet	962	0	2329	170	5	0	41
Aout	796	4	1991	126	29	1	40
Septembre	699	329	1945	9	95	29	36
Octobre	365	246	1195	56	68	11	31
Novembre	139	79	646	105	36	3	22
Décembre	81	42	458	123	24	1	18
Total	6329	1481	18076	976	53	6	35

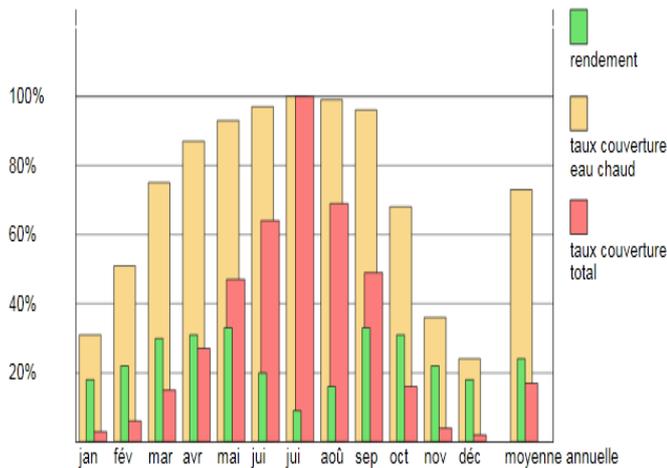


Figure III.12 : Représentation graphique de taux des couvertures et le rendement du bilan énergétique pour SSC.

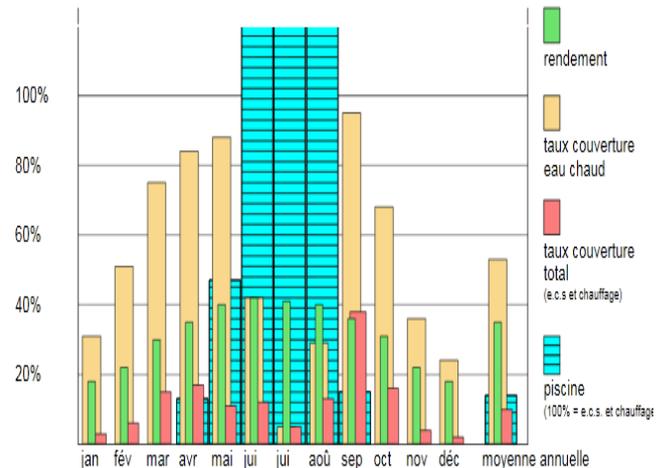


Figure III.13 : Représentation graphique de taux des couvertures et le rendement du bilan énergétique pour SSC + piscine.

III.6.3. Bilan écologique:

Les tableaux (III.3), (III.4) et les figures (III.14), (III.15) donnent l'apport solaire, économie d'énergie en KWh et en m³ gaz et le Co₂ réduit en Kg.

Tableau III.3: Bilan écologique du SSC.

Mois	Apport solaire [kWh]	Economique [kWh]	[m3 Gaz]	CO2économique [kg]
Janvier	113.1	122.9	12.3	23.4
Février	221.7	241.0	24.1	45.8
Mars	465.6	532.9	53.3	101.2
Avril	596.4	745.5	74.6	141.6
Mai	708.9	886.1	88.6	168.4
Juin	449.7	712.3	71.2	135.3
Juillet	209.8	349.6	35.0	66.4
Aout	317.8	529.6	53.0	100.6
Septembre	651.3	814.1	81.4	154.7
Octobre	364.5	455.7	45.6	86.6
Novembre	139.1	151.5	15.2	28.8
Décembre	80.8	87.8	8.8	16.7
Total	4318.6	5629.0	562.9	1069.5

Tableau III.4: Bilan écologique du SSC + piscine.

Mois	Apport solaire [kWh]	Economique [kWh]	[m3 Gaz]	CO2économique [kg]
Janvier	113.2	123.1	121.1	23.4
Février	221.7	241.0	241.0	45.8
Mars	465.6	532.9	532.9	101.2
Avril	660.6	825.7	825.7	141.6
Mai	868.6	1085.7	1085.7	168.4
Juin	958.2	1553.0	1553.0	135.3
Juillet	962.3	1603.8	1603.8	66.4
Aout	795.6	1325.9	1325.9	100.6
Septembre	698.7	873.4	873.4	154.7
Octobre	364.5	455.7	455.7	86.6
Novembre	139.1	151.5	151.5	28.8
Décembre	80.8	87.8	87.8	16.7
Total	6328.8	8859.5	8859.5	1069.5

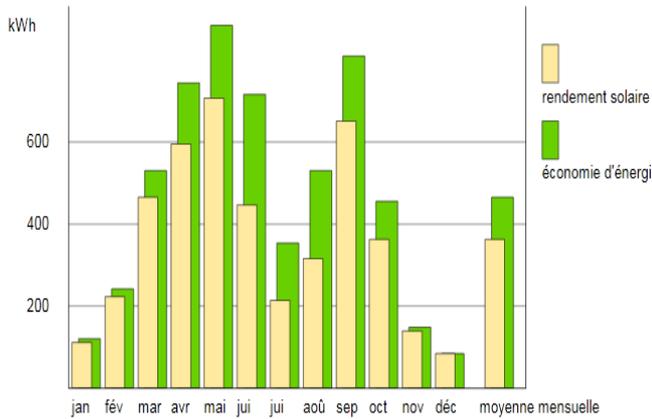


Figure III.14 : Représentation graphique d'économie d'énergie et le rendement du bilan énergétique pour SSC.

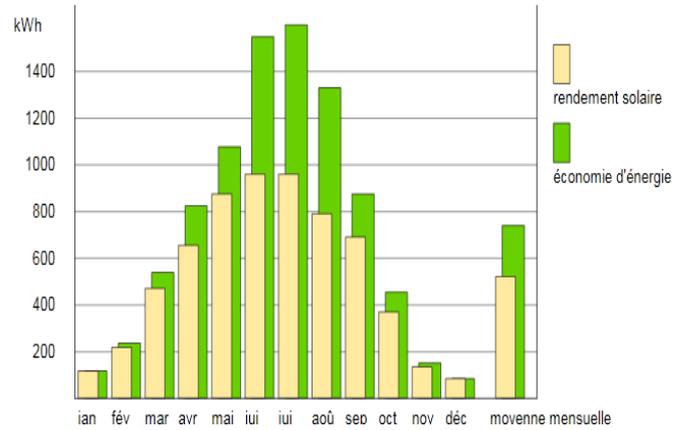


Figure III.15 : Représentation graphique d'économie d'énergie et le rendement du bilan énergétique pour SSC + piscine.

III.6.4. Bilan du chauffage solaire de la piscine :

Le tableau (III.5) donne le bilan énergétique de la piscine

Tableau III.5: Bilan du chauffage solaire de la piscine.

Mois	Piscine [kWh]	Chauffage [kWh]	Eau sanitaire [kWh]	Pour cent [%]	Chauffage [kelvin/jour]
Janvier	0	60	53	0 / 53 / 47	0.0
Février	0	139	83	0 / 63 / 37	0.0
Mars	0	334	131	0 / 72 / 28	0.0
Avril	292	227	142	44 / 34 / 22	0.2
Mai	703	12	154	81 / 1 / 18	0.4
Juin	877	9	72	92 / 1 / 8	0.5
Juillet	953	0	10	99 / 0 / 1	0.5
Aout	740	4	52	93 / 0 / 7	0.4
Septembre	202	329	167	29 / 47 / 24	0.1
Octobre	0	246	118	0 / 68 / 32	0.0
Novembre	0	79	60	0 / 57 / 43	0.0
Décembre	0	42	39	0 / 52 / 48	0.0
Total	3766	1481	1081	60 / 23 / 17	0.2

III.6.5.Tracé Graphique :

Les figures (III.16) , (III.17) représentent graphiquement les valeurs annuelles de taux de couverture d'eau chaude (une moyenne de 75%), couverture totale (une moyenne de 18%) et de rendement (une moyenne de 23%) pour le premier système et un taux de couverture d'eau chaude (une moyenne de 55%), couverture totale (une moyenne de 15%) , de rendement (une moyenne de 38%) avec une couverture de piscine (une moyenne de 18%) pour le deuxieme système durant l'année .

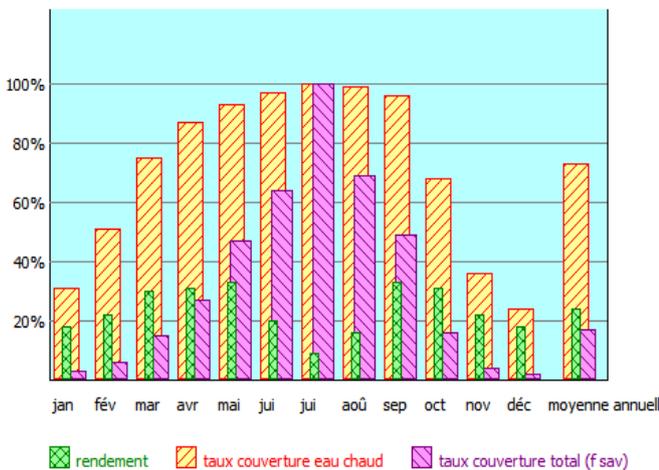


Figure III.16 : Représentation graphique de taux de couverture et le rendement(SSC).

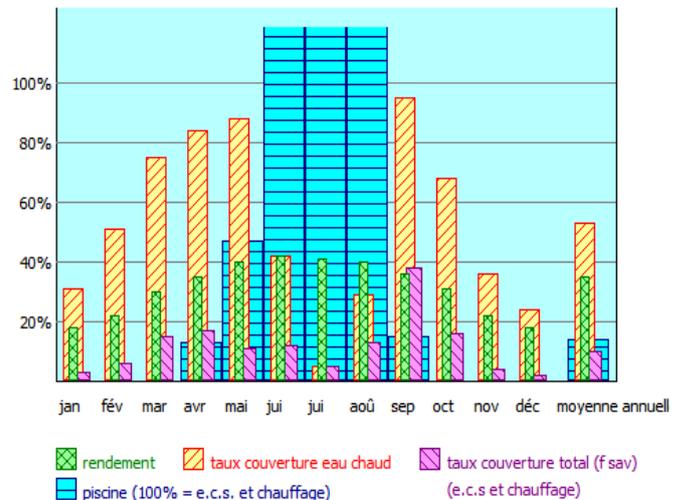


Figure III.17 : Représentation graphique de taux de couverture et le rendement (SSC+piscine).

III.6.6.Irradiation sur le capteur :

Pour une année (figures III.18 et III.19), la valeur moyenne de l'irradiation sur le capteur est aux alentours de 65KWh/°C pour les deux systèmes.

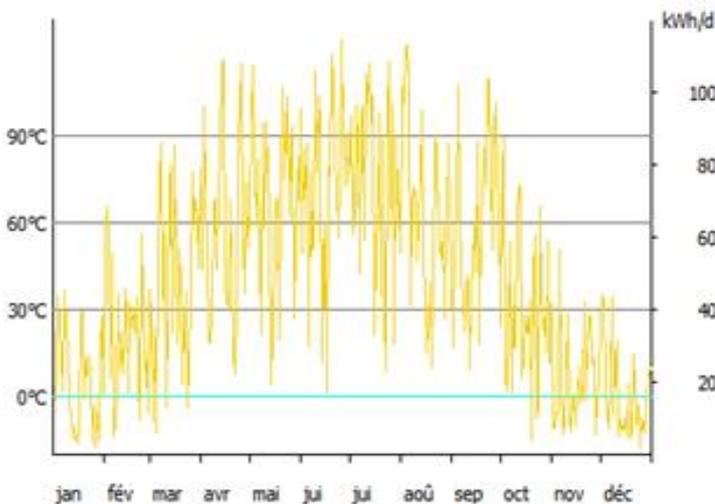


Figure III.18: Irradiation sur le capteur pour une année(SSC).

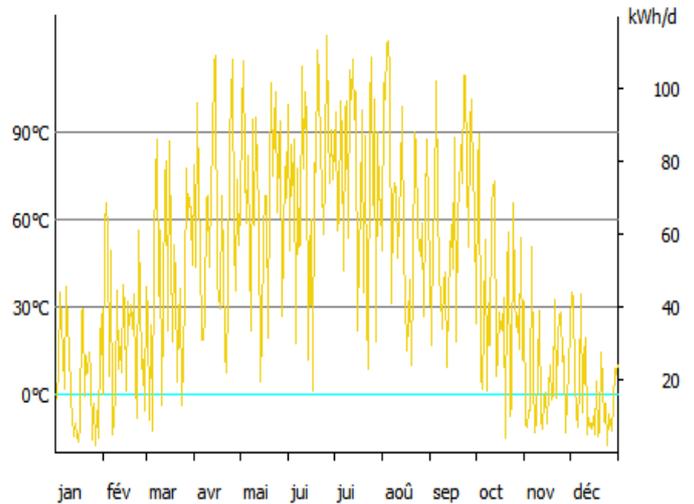


Figure III.19: Irradiation sur le capteur pour une année (SSC+piscine).

III.6.6. Puissance du système solaire:

Les figures(III.20), (III.21) présente la variation de la puissance du système solaire en fonction de la température aux cours d'une année; la valeur moyenne pour le premier système est environ de $23 \text{ KWh}/^\circ\text{C}$ et pour le deuxième est environ de $28 \text{ KWh} / ^\circ\text{C}$.

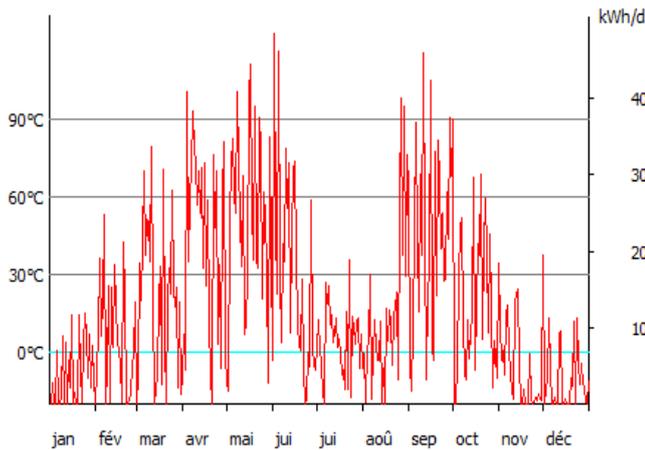


Figure III.20. Puissance du système solaire pour une année(SSC).

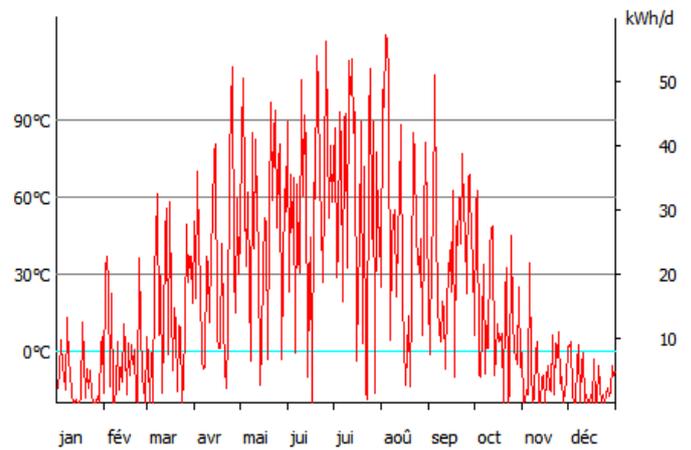


Figure III.21. Puissance du système solaire pour une année (SSC+piscine).

III.6.6.1 :L'irradiation sur le capteur et la puissance du système :

Les figures (III.22), (III.23) représentent la comparaison entre l'irradiation sur le capteur et la puissance du système, on remarque que la valeur moyenne de l'irradiation est beaucoup plus importante que la puissance pour les deux systèmes.

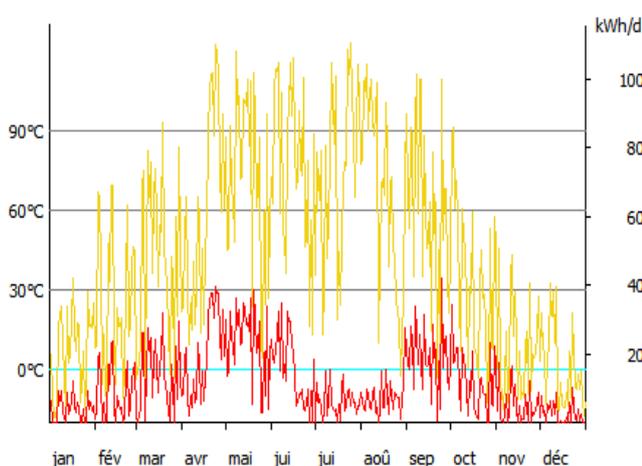


Figure III. 22: L'irradiation sur le capteur et la puissance du système(SSC).

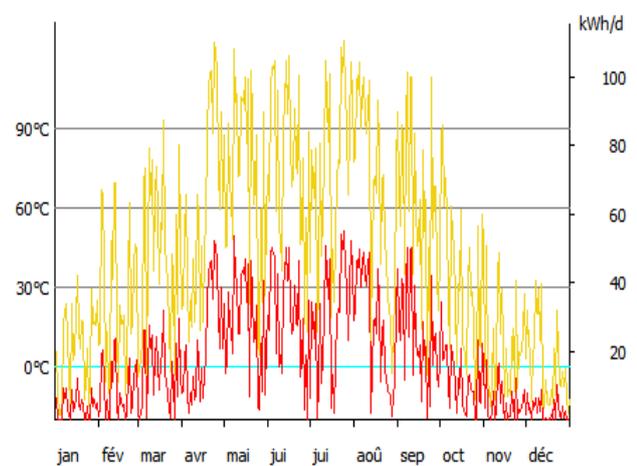


Figure III. 23: L'irradiation sur le capteur et la puissance du système (SSC+piscine).

III.6.7. Température du capteur :

Les figures(III.24), (III.25) présentent influence de la température au cours d'une année .La valeur moyenne est de : 90°C pour le premier système et de 60°C pour le deuxième système.

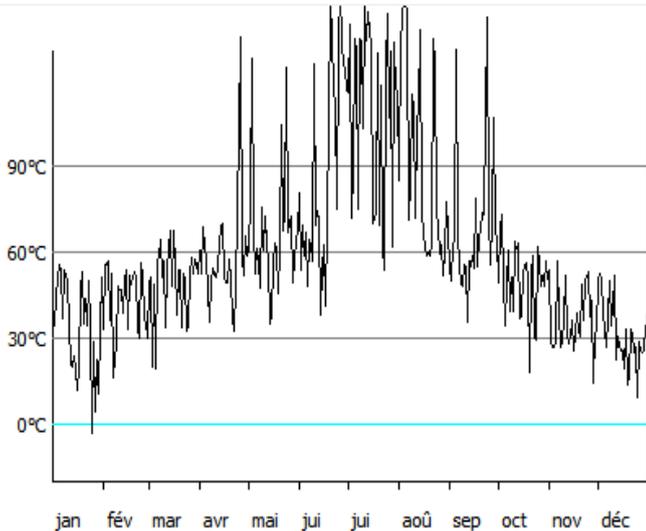


Figure III. 24: Température de capteur pour une année (SSC).

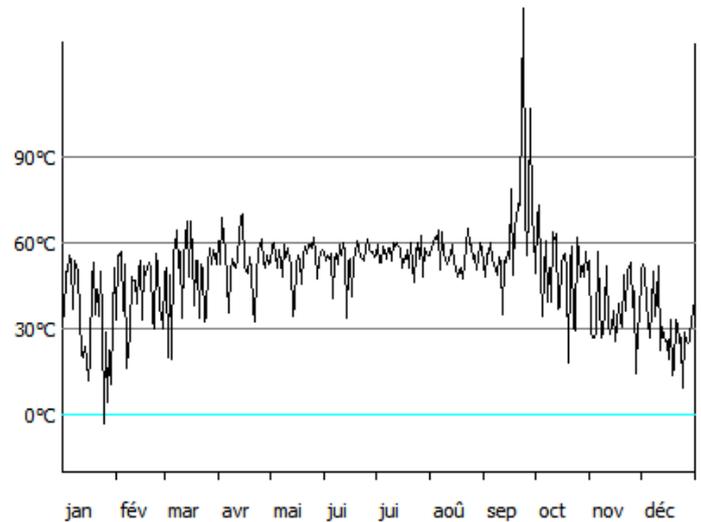


Figure III. 25: Température de capteur pour une année. (SSC+piscine).

III.6.8 : Températures du réservoir :

Pour étudier la distribution de la température dans le réservoir on s'intéresse à la température haute et basse du réservoir:

III.6.8.1 : Température haute du réservoir:

Les figures (III.26), (III.27) représentent la variation de la température haute du réservoir aux cours d'une année. La valeur moyenne de cette température est au allons tours de 70°C pour le premier système et de 55°C

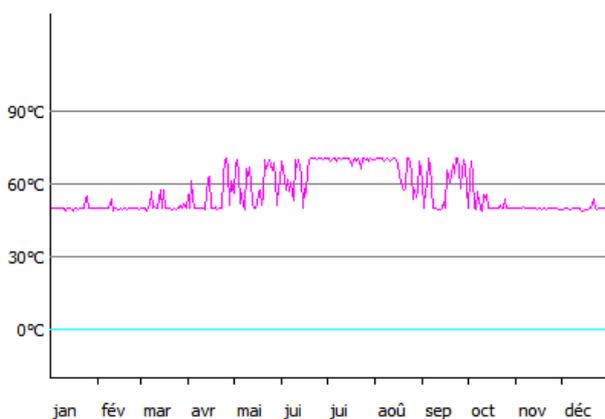


Figure III.26: Température haut réservoir pour une année (SSC).

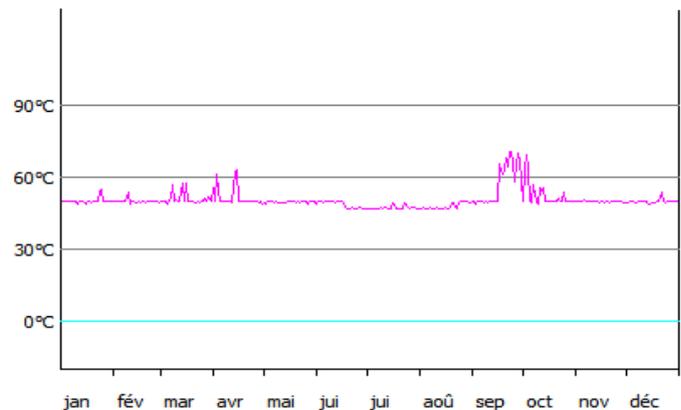


Figure III.27 Température haut réservoir pour une année. (SSC+piscine).

III.6.8.2 : Température basse du réservoir:

Les figures(III.28), (III.29) représentent la variation de la température basse du réservoir aux cours d'une année. La valeur moyenne de cette température est au allons tours de 70°C pour le premier système et de 55°C pour le deuxième.

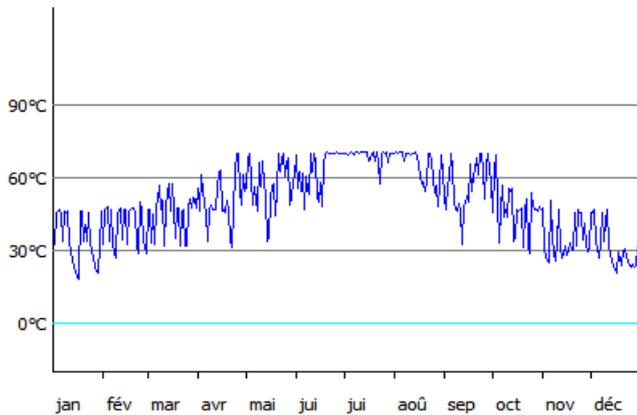


Figure III.28: Température bas réservoir pour une année(SSC).

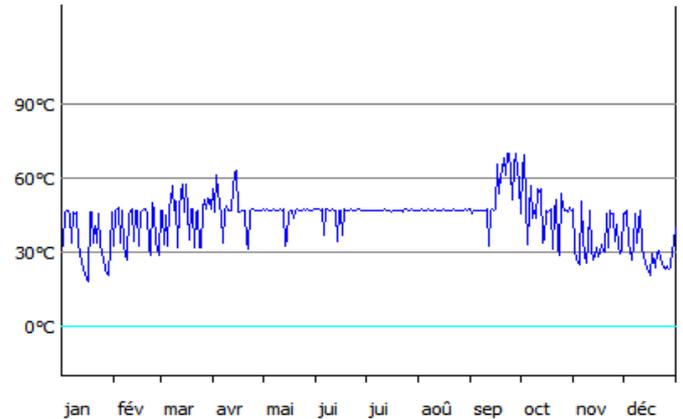


Figure III.29 Température bas réservoir pour une année (SSC + piscine).

III.6.8.5 : Température haut et bas des réservoirs :

Les figures (III.30), (III.31) représentent la variation de la température haute et basse du réservoir aux cours d'une année. Les températures haute et basse du réservoir sont pratiquement les mêmes pour une même installation (des deux systèmes étudiés). Par contre, ces températures sont différentes en passant de la première installation vers la deuxième : elles sont plus stable dans le deuxième système par contre elles sont perturbées et non uniformes pour le premier. La valeur moyenne de cette température est au allons tours de 70°C pour le premier système et de 55°C pour le deuxième. Cela est expliqué par le fait d'absence de la piscine dans le premier système permettra l'accumulation de la chaleur (capté dans le capteur solaire) au niveau du réservoir ce qui permet d'augmenté sa température.

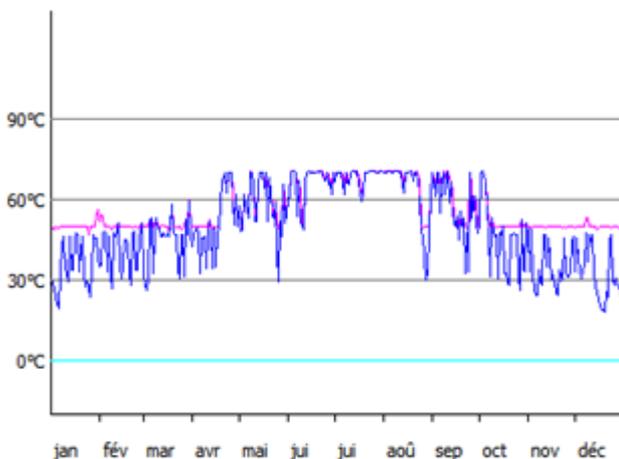


Figure III.30: Température haute et basse du réservoir pour une année(SSC).

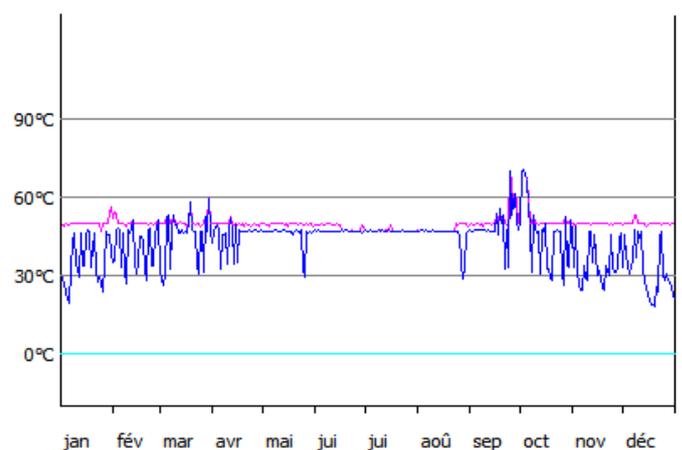
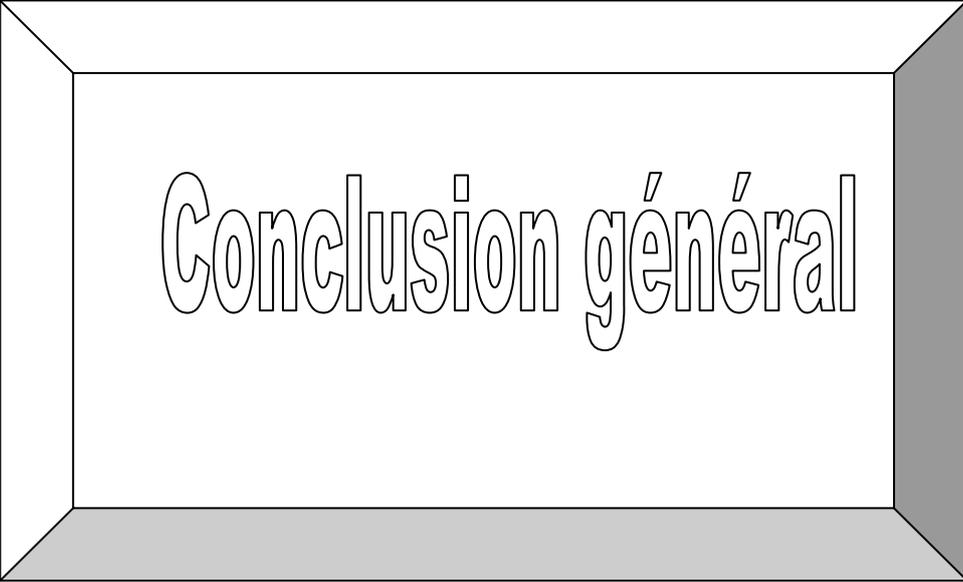


Figure III.31 Température haute et basse du réservoir pour une année.



Conclusion général

Conclusion générale

L'installation d'un système solaire thermique est le moyen pour chacun d'apporter une petite, mais réelle contribution, au règlement des problèmes environnementaux. Cette démarche ne sauvera pas le monde du jour au lendemain, mais s'inscrit de manière très concrète dans la bonne direction.

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. On peut conclure dans la fin de ce travail, les résultats suivants :

Les taux des couvertures sont de l'ordre de 201% et 308% respectivement pour le premier et le deuxième système. Les rendements correspondants sont respectivement 24% pour le premier système et 35% pour le deuxième durant une année ; bien que l'irradiation solaire est pratiquement la même pour les deux systèmes (l'irradiation sur le capteur est aux alentours de $65KWh/°C$ pour les deux systèmes.).

La puissance du système solaire varie en fonction de la température aux cours d'une année. La valeur moyenne de cette puissance est de $23 KWh/°C$ et $28KWh / °C$ respectivement pour le premier et le deuxième système.

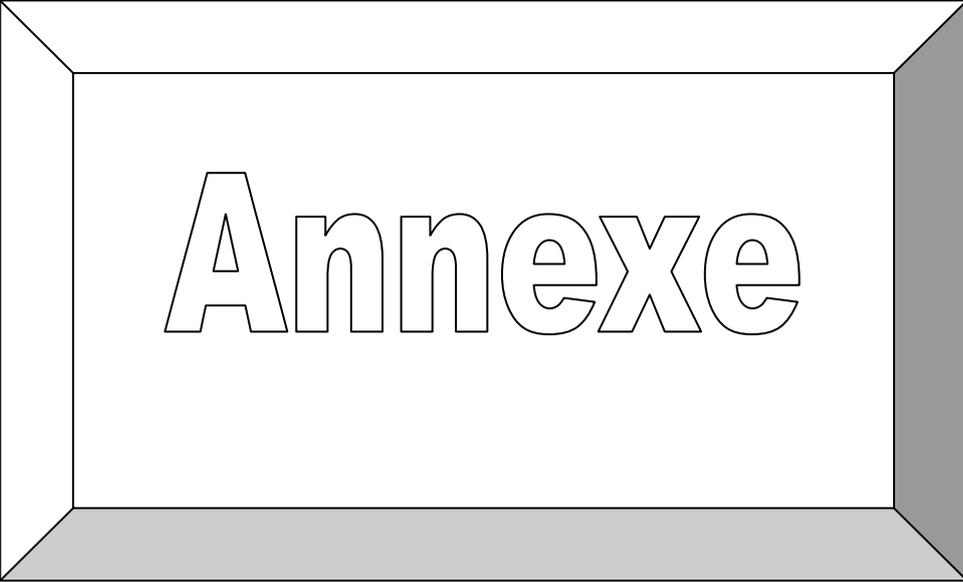
Cela nous permet de conclure aussi que le deuxième système a un rendement supérieur de 09% par rapport au premier système malgré que le taux de couverture (demande en énergie) soit très important par rapport au premier système. En effet l'excès d'énergie accumulé au niveau du capteur durant les mois les plus chauds (Juin, Juillet Aout) est utilisé pour faire chauffé la piscine tan disque pour le premier système cette chaleur est inutilisable.

En ce qui concerne l'évolution de la température du capteur au cours d'une année, la valeur moyenne est de $90°C$ pour le premier système et $60°C$ pour le deuxième système.

Les températures haut et bas du réservoir sont pratiquement les mêmes pour une même installation (des deux systèmes étudiés). Par contre, ces températures sont différentes en passant de la première installation vers la deuxième : elles sont plus stable dans le deuxième système par contre elles sont perturbées et non uniformes pour le premier. La valeur moyenne

de cette température est au allons tours de 70°C pour le premier système et de 55°C pour le deuxième. Cela est expliqué par le fait d'absence de la piscine dans le premier système permettra l'accumulation de la chaleur (capté dans le capteur solaire) au niveau du réservoir ce qui permet d'augmenté sa température.

Ces résultats sont très encourageants et démontrent tout l'intérêt de développer l'utilisation de cette forme d'énergie, très largement disponible dans notre pays et notamment dans le grand sud où le gisement solaire est immense, de plus la technologie de ces systèmes individuels est bien maitrisée et totalement intégrée, grâce aux efforts de la recherche scientifique dans le monde .

A 3D rectangular box with a white interior and a gray exterior. The word "Annexe" is written in a bold, outlined font in the center of the white interior.

Annexe

Annexe A Instruments de mesure du rayonnement solaire et différentes stations de l'O.N.M [41] :

1. Instruments de mesure du rayonnement solaire

Les mesures solarimétriques ne datent pas d'aujourd'hui, les premières mesures ont été entreprises par Pouillet en 1837.

Selon la composante du rayonnement solaire, différents appareils de mesure sont utilisés.

- **Rayonnement solaire total**

Pour mesurer le rayonnement solaire total parvenant sur une surface à partir d'un angle solide 2π stéradians on utilise un pyrromètre

- **Rayonnement solaire global**

On utilise un pyranomètre (figure 1.A) pour mesurer le rayonnement solaire global parvenant sur une surface à partir d'un angle solide 2π stéradians.



Figure 1.A. Un pyranomètre.

- **Rayonnement solaire direct**

L'appareil de mesure du rayonnement solaire direct est un pyrhélioimètre (figure 2.A), orientable de façon que la surface réceptrice soit normale aux rayons solaires.



Figure 2.A. Pyrhélioimètre

- **Rayonnement solaire diffus**

Quant à la mesure du rayonnement solaire diffus, elle est entreprise à l'aide d'un pyranomètre muni d'un dispositif pare-soleil.

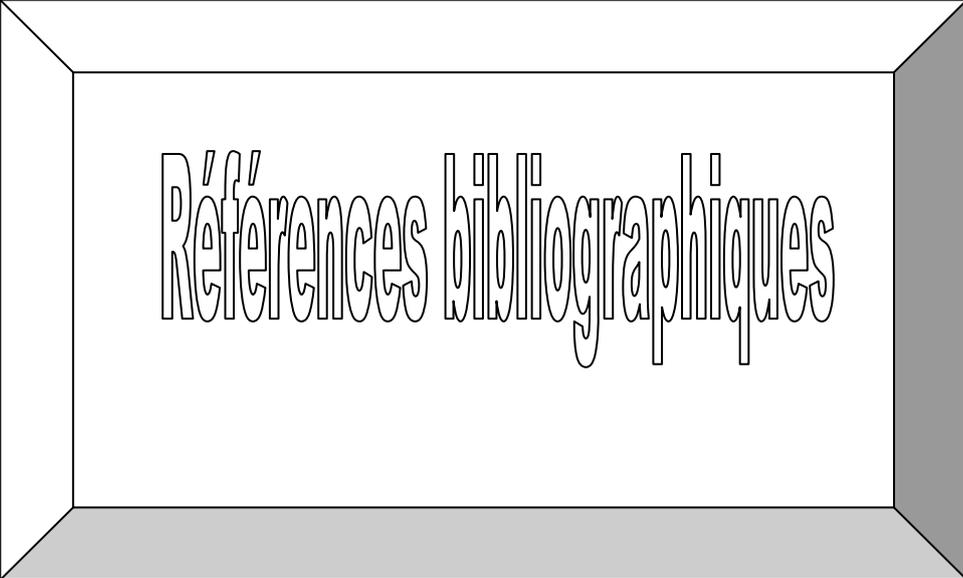
2. Les différentes stations de (O.N.M)

Le tableau 1.A présente les principales stations de l'O.N.M.

Station	Elévation	Latitude	Longitude
Adrar / Touat	2630	+27883	-000283
Ain Safra	10580	+32767	-000600
Ain bessam	7480	+36317	+003533
Alger port	80	+36767	+003100
Annaba / el mellah	40	+36833	+007817
Alouef	3090	+26967	+001083
Arzew	40	+35817	-000267
Batna	10520	+35550	+006183
Bechar /ouakada	7730	+31617	-002233
Bejaia-port	40	+36750	+005100
Bejaia / soummam	20	+36717	+005067
Beni abbes	4990	+30133	-002167
Beni-saf	680	+35300	-001350
Biskra	870	+34800	+005733
Bordj bou arreridj	9280	+36067	+004767
Bordji b mokhtar	3980	+21333	+000950
Bou-saada	4610	+35333	+004200

Bouhegouf	1110	+36500	+007717
Bouira	6350	+36383	+003900
Cap carbon	40	+36750	+005100
Cap falcon	1040	+35767	-000800
Chlef	1430	++36217	+001333
Constantine /el bey	6940	+36283	+006617
Dar el beida /houari	250	+36717	+003250
Dellys	120	+36917	+003950
Djanet / tiska	10540	+24550	+009467
Djelfa /tletsi	11780	+34667	+003350
El bayadh	13410	+33667	+001000
El golea	3970	+30567	+002867
El kheiter	10000	+34150	+000067
El oued /guemer	630	+33500	+006117
In salah	2930	+27250	+002467
In salah north	2690	+27250	+002517
In guezzam	4110	+19567	+005767
Jijel	20	+36833	+005783
Jijel /taher	20	+36833	+005783
Khenchella	11160	+35417	+007150
Ksar chellala	8000	+35167	+002317
Laghouat	7650	+33767	+002933
Maghnia	4260	+34817	-001783
Mascara	4740	+35600	+000300
Mascara/ghriss	5110	+35267	+000150
Mecheria	11490	+34933	-000433
Medea	9810	+36267	+002750
Miliana	7150	+36300	+002233
Mostaganem	1370	+35883	+000117
M'sila	4410	+35667	+004500
Naama	11660	+33267	-000300
Oran port	220	+35700	-000650

Oran/es-senia	900	+35633	-000600
Oran/tafraoui	1110	+35483	-000533
Ouargla	1410	+31917	+005400
Oum el bouaghi	8890	+35883	+007117
Saida	7700	+34867	+000150
Setif/ain-arnat	10380	+36183	+005417
Sidi bel abbes	4500	+35183	-002617
Skikda	70	+36933	+006950
Souk ahras	6800	+36283	+007950
Tamanrasset	13780	+22783	+005517
Tamanrasset/aguenna	13770	+22817	+005467
Tebessa	8130	+35483	+008132
Tenes	590	+36550	001333
Tiaret	11270	+35250	+001433
Timimoun	3120	+29250	+000283
Tindouf	4310	+27667	-008132
Tizi-ouzou	1950	+36700	+004050
Tlemcen/zenata	8050	+34867	-001333
Touggourt/sidi hmad	830	+33117	+006133



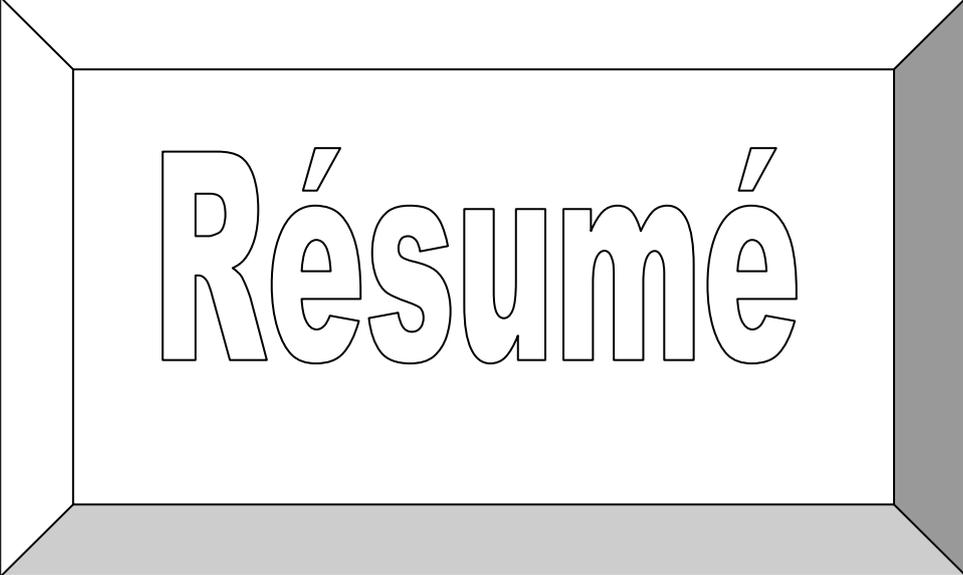
Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- [1] www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr .
- [2] Jean-François Sacadura, *Initiation aux transferts thermiques*, Lavoisier, Paris, 1993 (ISBN 2-85206-618-1).
- [3] www.actu-environnement.com/ae/news/projet_desertec_8112.php4.
- [4] <http://afppe.org/index.php/petit-eolien/petites-eoliennes-en-zone-baties>.
- [5] <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017>.
- [6] <https://www.geps-techno.com/ph4s>.
- [7] www.diplomatie.gouv.fr/spip.php?page=recherche&recherche=L'eau%2C+source+d'energie+du+futur .
- [8] <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/8377186.stm> .
- [9] https://www.diplomatie.gouv.fr/spip.php?page=recherche&recherche=L%27%C3%A9nergie+osmotique+%3A+vers+une+nouvelle+%C3%A9tape&id_rubrique.
- [10] http://www.energies-renouvelables.org/energie_biomasse.asp.
- [11] <http://www.fao.org/docrep/w7241e/w7241e05.htm#1.2.1%20photosynthetic%20>.
- [12] <http://www.ademe.fr/pv800export-vers-filiere-industrielle-francaise-wafers-silicium>.
- [13] <http://www.batiactu.com/edito/12-million-salaries-dans-energies-renouvelables-europe-34337.php>.
- [14] <https://jancovici.com/transition-energetique/renouvelables/lhydroelectricite-tout-beau-tout-bon-tout-propre>.
- [15] <http://archive.wikiwix.com/http://www.limousin.drire.gouv.fr>.
- [16] <http://www.insu.cnrs.fr/environnement/atmosphere/l-origine-surprenante-de-la-pollution-atmospherique-particulaire-en-compose>.
- [17] NABEL – La qualité de l'air en 2016. Office fédéral de l'environnement OFEV, Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherches (Empa).

- [18] <https://jancovici.com/changement-climatique/quel-monde-ideal/que-peut-on-dire-sur-un-monde-qui-serait-energetiquement-vertueux>.
- [19] <http://www.who.int/features/2014/clean-household-energy>.
- [20] <http://www.editions-ellipses.fr> J, Bernard. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [21] A, H, Khedim. Energie solaire et son utilisation sous forme thermique et photovoltaïque, Centre de Publication Universitaire. (2003).
- [22] Z, Sen. Solar energy fundamentals and modeling techniques, Springer. (2008) .
- [23] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Soleil>
- [24] R, Bernard; G, menguy; M, Schwartz. Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications, Technique et Documentation. (1979).
- [25] J, A, Duffie; W, A, Beckman. Solar engineering of thermal processes, John Wiley and Sons. (1980).
- [26] A, Sfeir ; G, Guarracino. Ingénierie des systèmes solaires, Technique et Documentation, Paris. (1981).
- [27] Ch, Perrin de Brichambaut; C, Vauge. Le gisement solaire, Technique et Documentation, Paris. (1982).
- [28] www.eyrolles.com/Sciences/Livre/energies-alternatives-9782916097022.
- [29] O, Sotehi. Etude des caractéristiques de fonctionnement et de la performance d'un distillateur solaire; thèse de magistère, Université de Constantine. (2009).
- [30] P, H, Communay. Héliothermique : le gisement solaire, méthodes et calculs, Groupe de Recherche et d'Édition, France. (2002).
- [31] N, Bellel. Contribution à la réalisation et simulation d'un capteur plan à eau type collecteur; thèse de magistère, Université de Constantine. (1989).
- [32] U, Eiker. Solar technologies for buildings, John Wiley sans Sons, England. (2001).
- [33] M, Capderou. Atlas solaire de l'Algérie, O.P.U, Alger. (1985).

- [34] A, Mefti; M, Y, bouroubi; H, Mimouni. Evaluation du potentiel énergétique solaire, Bulletin des Energies Renouvelables, N°2, p 12, décembre (2002) .
- [35] D, K, Edwards. Capteurs solaires, Edition SCM, paris. (1979).
- [36] www.solaire-thermique.guide.fr.
- [37] 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.
- [38] M. Tissot. L'énergie solaire thermique et photovoltaïque, Les guides de l'habitat durable. 2012. (2^e édition) AN13 : 9782212133202.
- [39] www.habitatpresto.com/interieur/chauffage/3755-chauffage-plus-economique.
- [40] https://www.bosch-climate.us/files/GetSolarOverviewPresentationBOSCH_US.pdf.
- [41] Benmehdi Rachid . Conception et régulation des systèmes fermés de distribution et de circulation de chauffage/climatisation , thèse de master , Université Aboubekr Belkaide Tlemcen .



Résumé

Résumé

L'énergie solaire pour le chauffage de l'eau et d'espace est l'une des méthodes efficaces pour réduire des besoins en énergie conventionnelle pour des bâtiments.

Tous les types de bâtiments, qu'ils soient d'habitation ou tertiaires, nécessitent des systèmes plus ou moins complexes pour maintenir, pour leurs occupants, une ambiance confortable. Ces systèmes apportent, suivant les saisons, chaleur ou fraîcheur (climatisation), avec plus ou moins d'efficacité (meilleure ambiance pour une moindre consommation).

L'objectif de ce travail est de faire une étude comparative entre deux systèmes de chauffage solaires : système solaire combiné et le même système doté de piscine. Durant cette étude on va examiner trois types de résultats en ce basant sur trois bilans différents, bilan thermique, bilan écologique et en fin un bilan économique en utilisant le logiciel nommé GET SOLAR.

Mots clefs : énergie solaire, capteur solaire, réservoir de stockage, chauffage de l'habitat, système de chauffage solaire, système solaire combiné, GET SOLAR.

Abstract

Solar energy for heating water and space is one of the effective methods to reduce conventional energy requirements for buildings. All types of buildings, whether residential or commercial, require more or less complex systems to maintain, for their occupants, a comfortable atmosphere. These systems provide, depending on the season, heat or cool (air conditioning), with more or less efficiency (better atmosphere for lower consumption). The objective of this work is to make a comparative study between two solar heating systems: combined solar system and the same system with swimming pool. During this study we will examine three types of results based on three different balance sheets, heat balance, ecological balance and in the end an economic balance using the software named GET SOLARE.

Key words: solar energy, solar collector, storage tank, home heating, solar heating system, combined solar system, GET SOLARE.

ملخص

تعد الطاقة الشمسية لتسخين المياه والمساحة واحدة من الطرق الفعالة لتقليل متطلبات الطاقة التقليدية للمباني. تتطلب جميع أنواع المباني ، سواء السكنية أو التجارية ، أنظمة أكثر أو أقل تعقيداً للحفاظ على جو مريح بالنسبة لشاغلها. توفر هذه الأنظمة ، تبعاً للموسم ، الحرارة أو التبريد (تكييف الهواء) ، مع كفاءة أكثر أو أقل (بيئة أفضل لاستهلاك أقل).

الهدف من هذا العمل هو إجراء دراسة مقارنة بين نظامين للتسخين الشمسي: النظام الشمسي المشترك والنظام نفسه مع حمام السباحة. خلال هذه الدراسة سوف ندرس ثلاثة أنواع من النتائج على أساس ثلاثة ميزانيات مختلفة ، توازن حرارة ، توازن إيكولوجي وفي النهاية توازن اقتصادي باستخدام البرنامج المسمى GET SOLAR.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية ، تجميع الطاقة الشمسية ، خزان التخزين ، التدفئة المنزلية ، نظام التسخين الشمسي ، النظام الشمسي المشترك ، GET SOLAR