

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : **Sciences et Technologies**
Filière : **Electronique**

Spécialité : **MICRO-ELECTRONIQUE**

Thème :

**Etude et analyse des performances thermiques d'un
chauffe-eau solaire individuel à circulation naturelle.**

Mémoire soutenu publiquement le 08/07/2018

Dirigé par :

Promotrice : M^{me} SAHNOUNE. F

Co-promotrice : M^{elle} SIDI SAID. A

Présenté par :

SEDKI Lylia

SI LARBI Amina

2017 /2018

Remerciements

Avant tout, nous remercions le bon dieu le tout puissant de nous avoir donné la force nécessaire pour parvenir à finaliser ce modeste travail.

Ensuite nous tenons à témoigner notre profonde gratitude et nos remerciements les plus sincères à :

- *Madame SAHNOUN FATIHA notre promotrice, de nous avoir encouragé à nous investir au maximum et fournir les efforts nécessaires pour la réalisation de ce travail, et son suivie tout au long du stage pratique au sein du centre de recherche des énergies renouvelables de Bouzareah.*
- *Madame SIDISAID AMEL notre co-promotrice, pour son accompagnement et ces conseils précieux durant tous notre travail.*
- *Nos enseignants, pour leur aide et leurs conseils durant notre cursus en particulier M^{me} HOCINE pour son directif.*
- *L'ensemble du personnel du centre des énergies renouvelables pour leurs accueille.*
- *Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils porteront à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

*A mes chers parents SALAH.S KAHENA.S .Aucun
hommage ne pourrait être à la hauteur. Que
dieu leur procure bonne santé et longue vie.*

A tous mes cher(e)s

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

LYLIA .S

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mes très chers parents;

Mes frères (Tarik, Nassim et Sofiane);

Mes sœurs (Rima, Sara et Fatima);

Ma belle sœur Lamia et mon neveu Ryad;

*Tous mes amis en particulier Taous, Harimen, Ouiza, Fatima, Samir Bilel,
Amar et sid ahmed;*

Toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin ;

Amina

Nomenclature

Symbole	Nomenclature	Unité
A	Surface	m ²
A _e	surface d'échange	m ²
a	Azimut du soleil	degré
a*	Albedo du sol	/
C	Correction de la distance terre soleil	/
C _p	Chaleur spécifique massique	J/Kg°C
D	Le rayonnement solaire diffus	w/m ² .j
D _{1H}	le rayonnement diffus provenant de la voute céleste	w/m ² .j
D _{2H}	le rayonnement diffusé par le sol	w/m ² .j
De	diamètre de la tuyauterie	m
e	coefficient de trouble du ciel	/
e _{ios}	épaisseur de l'isolant	m
E	rayonnement direct	w/m ² .j
E ₀	Constante solaire	/
E ₁	le rayonnement mesuré sur un plan quelconque	w/m ² .j
E ₂	le rayonnement mesuré sur un plan horizontal	w/m ² .j
g	Irradiation solaire journalière globale	w/m ² .j
G	Rayonnement solaire	w/m ²
G _T	Rayonnement globale	w/m ²
h	Hauteur angulaire du soleil	rad
K _{iso}	conductivité thermique de l'isolant	w/m.°c
K _i	coefficient de déperdition linéique de la tuyauterie	W/ m .°C
l	longueur de tube.	m
m	la masse d'air	Kg
ṁ	Le débit	Kg/s
n	numéro du jour	/
SS	Durée d'insolation	Heure
SS ₀	Durée journalière maximale d'ensoleillement heure	Heure

Ts	Le temps solaire	Heure
Tc	Température du capteur	K
Tb	Température du ballon de stockage	°K
ΔT_1	valeur ajustable du différentiel d'enclenchement du circulateur	°K
ΔT_2	valeur ajustable du différentiel d'arrêt du circulateur	°K
Vj	volume d'eau chaude consommé quotidiennement	l
Vja	consommation moyenne journalière sur la période de fonctionnement.	l
Vjété	consommation moyenne journalière	l

Lettres grecques

	Nomenclature	Unite
φ	La latitude	Degré
ψ	La longitude	Degré
β	Inclinaison du plan	Degré
θ	L'angle d'incidence	Degré
δ	Déclinaison	Degré
ω	L'angle horaire	Degré
λ	Longueur d'onde	m

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques principales du soleil.

Tableau I.2 : Spectre électromagnétique.

Tableau I-3: Coefficients de trouble du ciel.

Tableau III- 1 : Données météo.

Tableau III. 2: Paramètres d'installation.

Tableau III.3 : Résultats mensuelle.

Tableau III.2 : Résultats annuels.

Liste des figures

Figure I-1: Position du site P à la surface de la terre

Figure I-2: Coordonnées géographiques terrestres

Figure I-3: Coordonnées équatoriales

Figure I-4: L'évolution de la hauteur maximale du soleil pour diverses latitudes

Figure I-5: Cercle horaire

Figure I-6 : Coordonnées horizontales.

Figure I-7 : Spectre du rayonnement solaire

Figure I- 8 : Coupe d'un capteur solaire plan.

Figure I- 9 : Capteur plan vitré.

Figure I- 10 : Capteur plan vitré à effet de serre

Figure I -11 : Absorbeur et revêtement sélectif.

Figure I.12 : capteur sous vide.

Figure I- 13 : Disposition des capteurs

Figure I-14 (a et b) : Le schéma synoptique du fonctionnement d'un chauffe-eau solaire.

Figure I-15 : La cuve de stockage avec échangeur.

Figure I-16 : Les types d'échangeur

Figure I-17 : Le chauffe- eau solaire à circulation naturelle sans échangeur de chaleur

Figure I-18: Le Chauffe-eau solaire en thermosiphon avec échangeur

Figure I-19 : Le chauffe-eau avec calculateur avec échangeur à l'intérieure de réservoir de stockage

Figure I-20 : Le chauffe-eau avec calculateur avec échangeur à l'extérieur du réservoir stockage.

Figure II.1 : L'emplacement de l'appoint électrique et régulateur quand les ballons sont confondus et séparés respectivement

Figure II.2 : Graphe de fonctionnement du système de régulation TOR

Figure II.3 : Courbe représentant la Puissance de chauffe en fonction de la température par centre de gravité

Figure II.4 Schéma synoptique d'un régulateur

Figure II .5 : Un régulateur

Figure II.6 : Schéma simplifié d'une régulation différentielle

Figure II.7: Organigramme de fonctionnement de la régulation différentielle

Figure II.8 : Schéma d'une régulation différentielle avec vanne de Commutation

Figure II.9: Organigramme de fonctionnement de la régulation différentielle Avec Vanne De Commutation

Figure II.10: Régulation différentielle : cas d'un Echangeur extérieur

Figure II.11: Organigramme de fonctionnement de la régulation différentielle échangeur extérieur.

Figure III.1 : Taux de couverture solaire mensuel

Figure III.2 : Température de l'eau arrivée.

Figure III.3 : Apport solaire mensuel.

Figure III.4 : Besoin d'eau chaude solaire

Figure III.5 : Irradiation sur les capteurs solaire

Figure III.6 : Différencier de température extérieure.

Figure IV.1 : banc d'essai du CSEI à Bouzareah

Figure IV.2: Emplacement de la sonde a l'entrée de la cuve.

Figure IV.3 : Emplacement de la sonde a l'entrée du capteur..

Figure IV.4 L'emplacement de la sonde a la sortie du capteur.

Figure IV.5 : L'emplacement de la sonde a la sortie de la cuve

Figure IV.6 : mesure de la température ambiante

FigureIV.7 : Thermocouple

Figure IV.8 : Pyranometre

Figure IV.9 Photos de l'enregistreur.

Figure V.1 : L'évolution de la température ambiante

Figure V. 2: L'évolution de l'éclairement globale

Figure V.3 : La température à l'entre du capteur

Figure V.4 : La température à la sortie du capteur

Figure V.5: La température à l'entrée et sortie du capteur

Figure V.6 : La température à l'entrée de la cuve

Figure V.7 : La température à la sortie de la cuve

Figure V.8: La température a l'entrée et sortie de la cuve

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : GENERALITES SUR L'INSTALLATION DE PRODUCTION D'EAU CHAUDE.	
I.1 INTRODUCTION.....	3
I.2 PRINCIPES GENERAUX	3
I.2.1 LE GISEMENT SOLAIRE.....	3
I.2.1.1 DESCRIPTION DU SOLAIL	3
I.2.1.2 PARAMETRES DE POSITION	4
I.2.1.3 RAYONNEMENT SOLAIRE.....	7
I.2.1.3.1 le spectre d'irradiation solaire	8
I.2.1.3.2 rayonnement solaire reçu par le sol.....	8
a) rayonnement direct	8
b) rayonnement diffusé	10
c) rayonnement global	11
I.2.1.4 INFLUENCE DE L'ATMOSPHERE SUR LE RAYON SOLAIRE	11
I.2.1.4.1 la masse air	11
I.2.1.4.2 l'absorption atmosphérique	12
I.2.1.4.3 la Diffusion atmosphérique	12
I.2.1.5 INSOLATION	13
I.2.1.5.1. Taux d'ensoleillement	13
I.2.1.5.2 Insolation potentielle (théorique) SS0.....	13
I.2.1.5.3 Durée d'insolation (SS).....	14
I.2.2 CAPTATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE	14
I.2.2.1 CAPTEURS SOLAIRES THERMIQUE	14
I.2.2.1.1. Capteurs à circulation du fluide	14
I.2.2.1.2. Capteurs à air.....	19
I.2.2.2 Éléments de construction d'un capteur plan	19
I.2.2.3 Orientation et inclinaison d'un capteur plan	22
I.2.2.4. Raccordement des capteurs.....	23
I.2.2.5 Implantation des capteurs	24
I.3. LE CHAUFFE- EAU SOLAIRE	25
I.3.1 Les composants d'un chauffe-eau solaire	26
I.3.1.1 la cuve de stockage	26
I.3.1.2 la tuyauterie	27
I.3.1.3: l'échangeur	27
I.3.1.4: l'appoint.....	28
I.3.2 Fonctionnement D'un Chauffe-eau Solaire	29
I.3.3. Les types de chauffe-eau solaire	29
A. Le Chauffe-eau Solaire à Circulation Naturelle (thermosiphon).....	29

A.1. Le chauffe-eau solaire à circulation naturelle sans échangeur de chaleur.....	29
A.2 Le chauffe-eau solaire a circulation naturelle avec échangeur.....	30
B. Le Chauffe-eau Solaire avec Circulateur (circulation forcée)	30
B.1.Le Chauffe-eau Solaire avec Circulateur avec Echangeur à l'Intérieur du réservoir	31
B.2. Le chauffe-eau solaire avec Circulateur avec échangeur à l'extérieur du réservoir	31
I.4 Conclusion	33

Chapitre II : Régulation et protection des installations de production d'eau chaude solaires.

II.1 Introduction.....	34
II.2 Régulation de l'appoint.....	34
II.2.1 Description du système.....	34
II.2.2 Composant du régulateur	35
II.3. Régulation des pompes	38
II.3.1 Régulation différentielle	38
II.3.1.1 Régulation différentielle avec vanne de commutation	40
II.3.1.2 Régulation différentielle avec échangeur extérieur	43
Conclusion.....	44

Chapitre III: dimensionnement d'une installation d'un chauffe-eau solaire.

III.1-Introduction	45
III.2-Dimensionnement des composants principaux	45
III.2.1- Dimensionnement du capteur thermique	45
III 2.2- Dimensionnement de la cuve de stockage	46
III.2.3-Dimensionnement de l'absorbeur	46
III 2.4- Dimensionnement de la tuyauterie	47
III 2.5- Dimensionnement de l'échangeur	48
III 2.6- Dimensionnement de l'appoint	48
III.3- Méthode de calcul des performances thermique des installations de production d'eau chaude solaire	48
III.3.1-Paramètres de calcul.....	49
III.3.2- Condition de bon dimensionnement.....	49
III.3.3-Résultat du dimensionnement	49
III.4-Interprétation des résultats de dimensionnement	51
III.5-Conclusion	54

Chapitre IV : Etude expérimental d'un chauffe-eau solaire

IV .1- Introduction.....	55
IV.2-Description du banc d'essai : (BOUZAREAH).....	55
IV.3-Emplacement.....	56
IV.4-orientation et inclinaison	56
IV.5-déroulement de l'expérimentation	57
IV.6-Paramètres à mesurer	57
IV.7 Thermocouple.....	61
IV.7.1- Principe d'un thermocouple	61

IV.7.2-Choix des thermocouples	62
IV.8-Mesure de l'éclairement global incliné.....	62
IV.9- Enregistrement des données.....	63
IV.9.1-Enregistreur OM-300 séries.....	64

Chapitre V : Résultats et interprétations

V.1 Introduction	64
V.2 Interprétation	64
V.3 Conclusion.....	68

Conclusion	69
-------------------------	-----------

Références bibliographiques

Annexe



INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

L'évolution vers le mode d'utilisation de l'énergie plus respectueux de notre environnement et plus économique exige le développement d'utilisation des sources d'énergies renouvelables telle que le soleil, le vent, la biomasse, mais la ressource solaire est bien plus importante que celle de toutes les autres sources d'énergies renouvelables car ces applications sont très proches des activités quotidiennes pour cela elle devrait constituer un axe majeur de toute politique de développement durable et soutenable.

Les énergies renouvelables ont un intérêt particulier par rapport aux autres sources d'énergies d'origines fossiles car :

- L'utilisation de ces derniers se traduit inévitablement par des rejets gazeux qui contribuent à l'aggravation du phénomène de l'effet de serre et la pollution de l'atmosphère, pollution des sols... (Fumées contenant du CO₂ et des NO_x par les centrales thermiques) pas de danger radioactif ni des déchets encombrants (centrales nucléaires).
- Ce sont des réserves limitées à l'horizon d'un siècle pour le gaz et le pétrole.
- Et en fin l'énergie représente un poste de dépense importante, comme on le voit bien aujourd'hui pour les industries, les collectivités et les ménages.

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

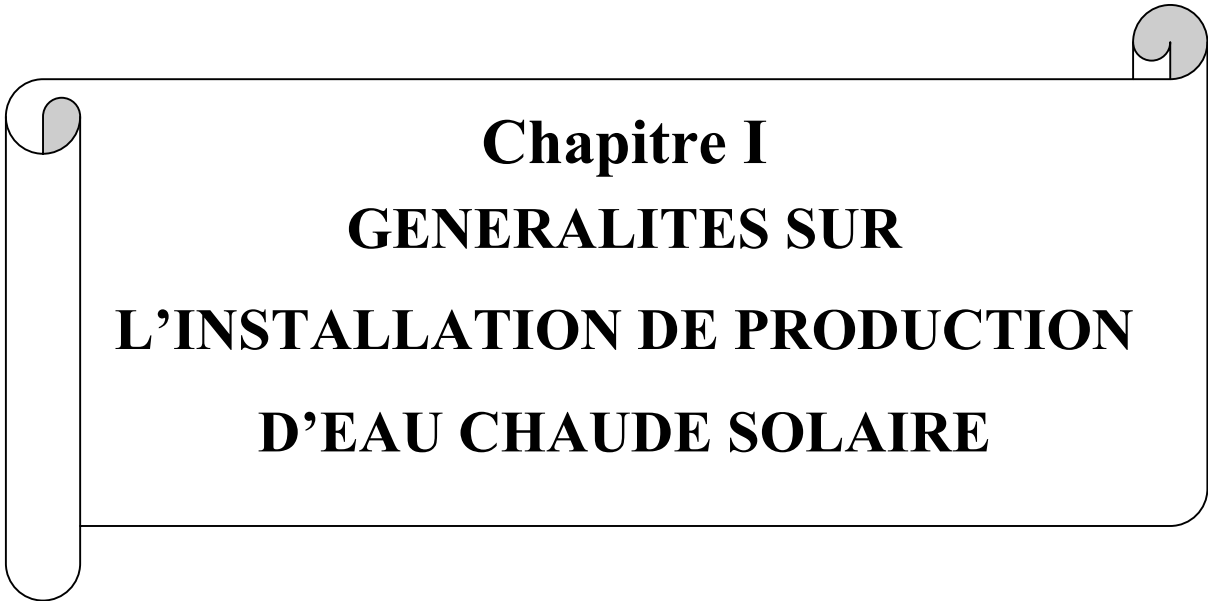
Dans notre travail nous nous intéressons au solaire thermique.

L'étude que nous avons effectuée met à profit l'importance de l'énergie solaire pour satisfaire les besoins en eaux chaudes sanitaires.

Le travail que nous élaborons consiste à faire une étude et analyse des performances thermique d'un chauffe eau solaire. Au niveau de CDER (centre de développement des énergies renouvelables) de Bouzaréah ALGER.

Nous avons traité lors de notre travail les points suivant :

- ❖ Le premier chapitre est consacré à des définitions et généralités sur l'installation de production d'eau chaude solaire à savoir les données générales du gisement solaire
- ❖ Le deuxième chapitre s'agit de la régulation et protection de l'installation
- ❖ le troisième chapitre expose le dimensionnement de l'installation solaire, et le calcul prévisionnel des performances énergétique, en utilisant le logiciel SOLO développé par le CSTB France.
- ❖ Le quatrième chapitre consiste à faire une étude expérimentale d'un chauffe eau solaire individuel.
- ❖ Le dernier chapitre a pour but de donner et interpréter les résultats de la précédente. Et nous clôturons notre travail par une conclusion générale.



Chapitre I
GENERALITES SUR
L'INSTALLATION DE PRODUCTION
D'EAU CHAUDE SOLAIRE

I.1 Introduction :

Le solaire thermique est basé sur l'utilisation de la chaleur émise par le soleil. Le rayonnement solaire atteignant une surface donnée dépend directement de l'orientation de celle-ci et de la position du soleil, une bonne prévision de la position du soleil permet de mieux placer les capteurs solaires, sachant que leur productivité est maximale s'ils sont exposés selon une inclinaison et une orientation dépendante de leur site d'implantation. La connaissance de la position du soleil en fonction du temps est donc fondamentale.

I.2. Principes généraux :

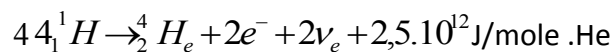
I.2.1 Gisement solaire :

I.2.1.1- Description du soleil :

Le soleil est une étoile qui se compose essentiellement de 73,46 % H₂, de 24,85 % H_e

Il représente à lui seul plus de 99 % de la masse du système solaire. Sa forme est presque Parfaitement sphérique, avec un aplatissement aux pôles estimé à neuf millièmes.

Toute l'énergie du soleil provient de réaction thermonucléaire qui s'y produit <Cycle de Bethe>



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

Caractéristique		Valeur
Masse		1,9891×10 ³⁰ kg
Diamètre		1 408 km
Masse volumique moyenne		1 408 kg.m ⁻³
Surface		6,09×10 ¹² km ²
Volume		1,41×10 ¹⁸ km ³
puissance rayonnée		3,83x10 ²⁶
Gravité à la surface		273 ,95m.s ⁻¹
Température	au centre	15,1MK
	A la surface	5770K

Tableau (I.1) : Caractéristiques principales du soleil.[15]

I.2.1.2- Paramètres de position

Pour définir la position terre-soleil à un instant donné, on utilise les coordonnées suivantes:

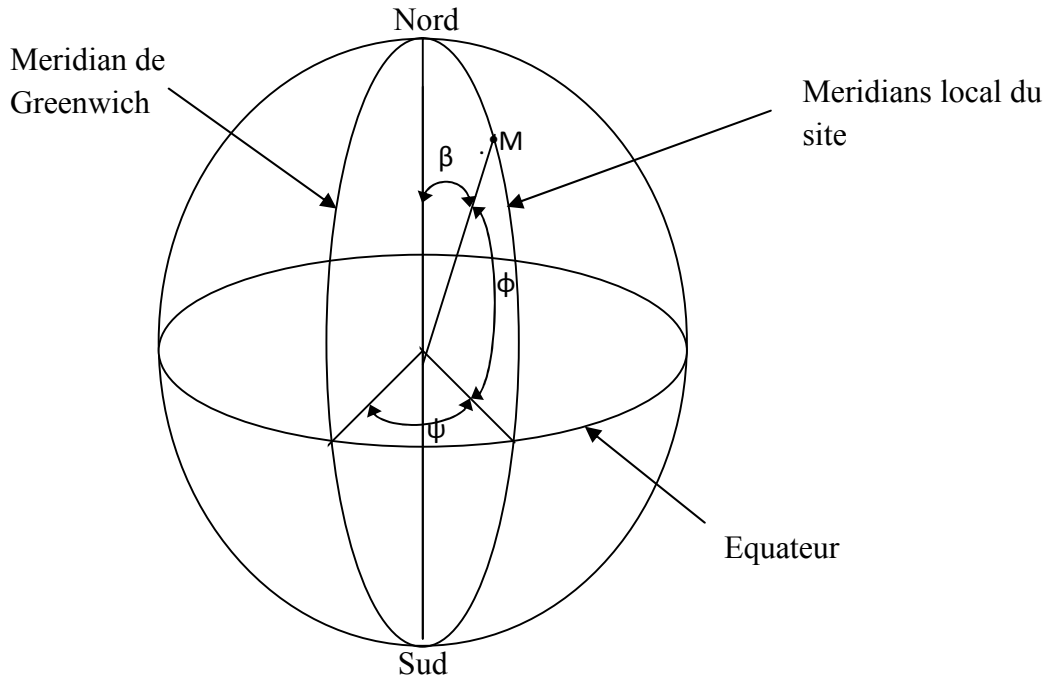


Figure (I-1) : Position du site P à la surface de la terre

A.1-Coordonnées terrestre :

On repère un site donné à la surface de la terre par deux coordonnées, la latitude ϕ et la longitude ψ .

a. La latitude ϕ :

C'est l'angle formé par la verticale d'un lieu donné avec le plan équatorial terrestre. Elle est comptée à partir de l'équateur de 0 à $\pm 90^0$, positivement vers le nord et négativement vers le sud.

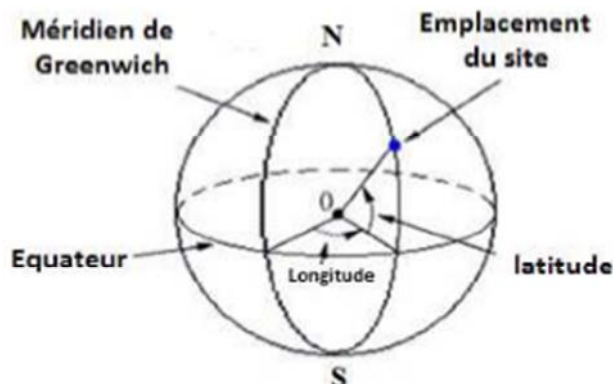


Figure (I-2): Coordonnées géographiques terrestres.

b. La longitude Ψ :

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

c. L'inclinaison du plan β :

C'est l'angle entre le plan lui-même et l'horizontal

$\beta=0$: pour un plan horizontal tourne vers le haut.

$\beta=90^\circ$: pour un plan vertical

$\beta=180^\circ$: pour un plan horizontal tourne vers le bas

Elle varie de -15° au solstice d'hiver à $+15^\circ$ au solstice d'été, et elle est nulle aux équinoxes

d. L'angle d'incidence θ :

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

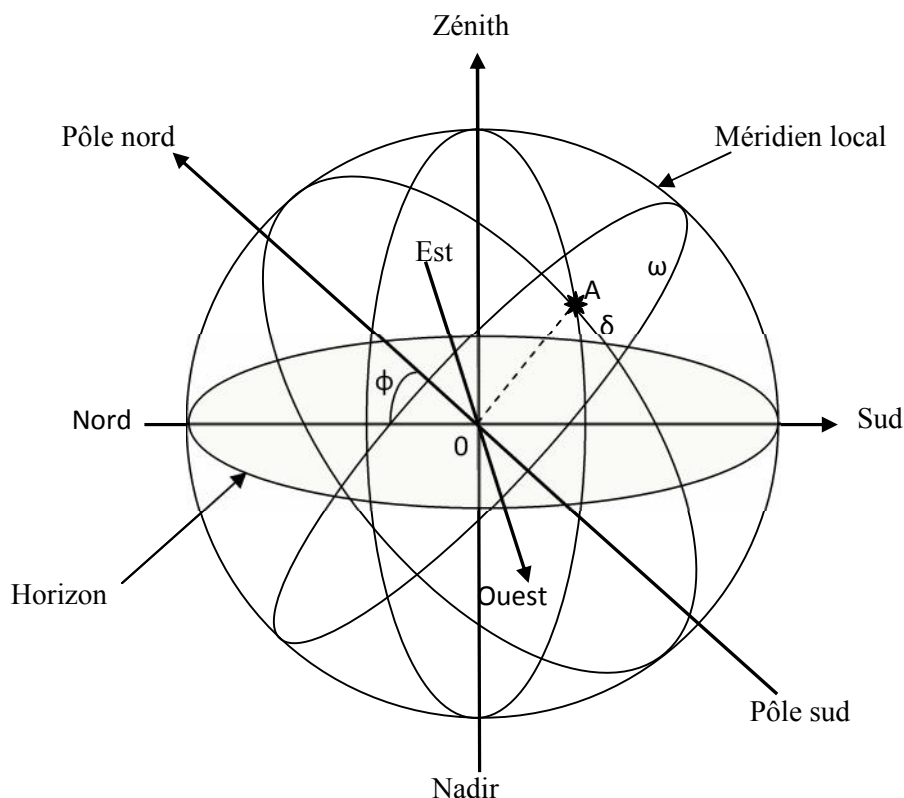
A.2- Coordonnées équatoriales :

Figure (I-3): Coordonnées équatoriales

Le plan de référence est l'équateur céleste, les deux coordonnées utilisées sont la déclinaison δ et l'angle horaire ω .

a. La déclinaison δ :

L'angle formé par la direction du soleil avec le plan équatorial cette déclinaison varie entre $-23,45^\circ < \delta < 23,45^\circ$, la valeur de déclinaison peut être calculée par la relation suivante :

$$\delta = 23.45 \sin[0.980(J + 284)]$$

J: Numéro du jour de l'année.

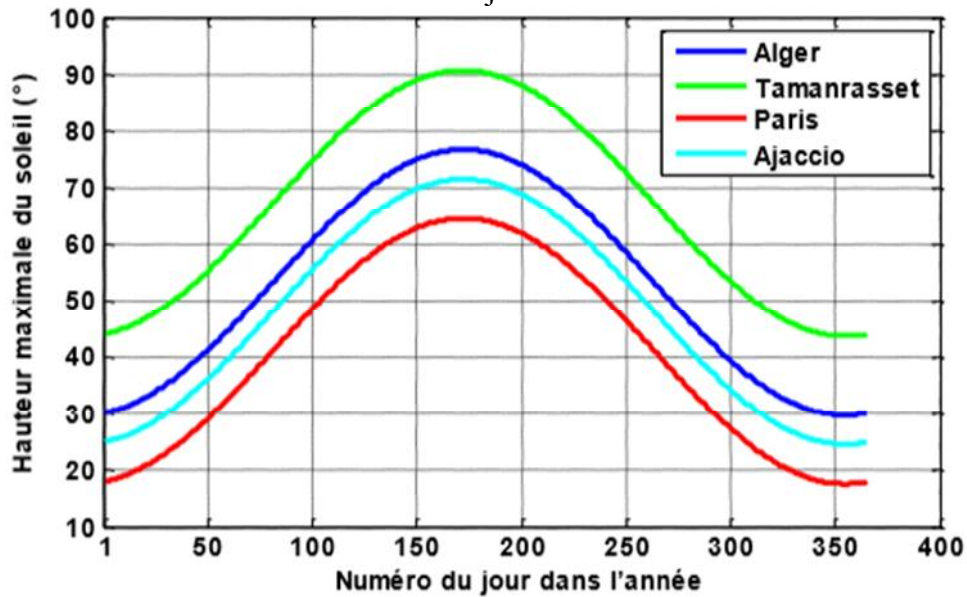
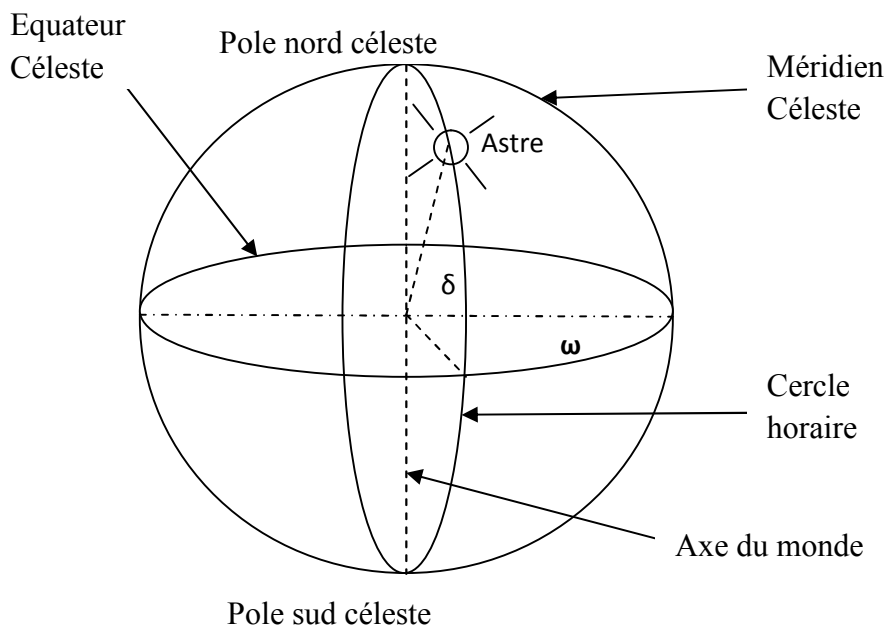


Figure (I-4): l'évolution de la hauteur maximale du soleil pour diverses latitudes

b. L'angle horaire ω :



Figure(I.5): Cercle horaire

On peut à partir des lois régissant les mouvements apparents du soleil par rapport à un observateur terrestre, calculer les coordonnées du soleil en tout point de la terre et à tout instant, l'angle horaire ω est de 0 à midi qui est donné par la formule suivante:

$$\omega = 15^\circ(T_s - 12) \quad [\text{degré}] \quad T_s = 12\text{h}$$

A.3- Coordonnées horizontales :

C'est le repérage du soleil par la hauteur angulaire h et l'azimut a du soleil.

a. La hauteur du soleil h :

C'est l'angle que fait la direction de l'astre avec le plan horizontal, elle varie de 0 à $\pm 90^\circ$, positivement vers le zénith et négativement vers le nadir. Elle est donnée par la formule:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega$$

b. L'azimut du soleil a :

C'est l'angle que fait le plan du méridien local avec le plan vertical passant par l'astre. Elle se compte de 0° à 360° de l'ouest vers l'est. Elle est donnée par :

$$\sin a = \cos \delta \cdot \sin \omega / \cos h$$

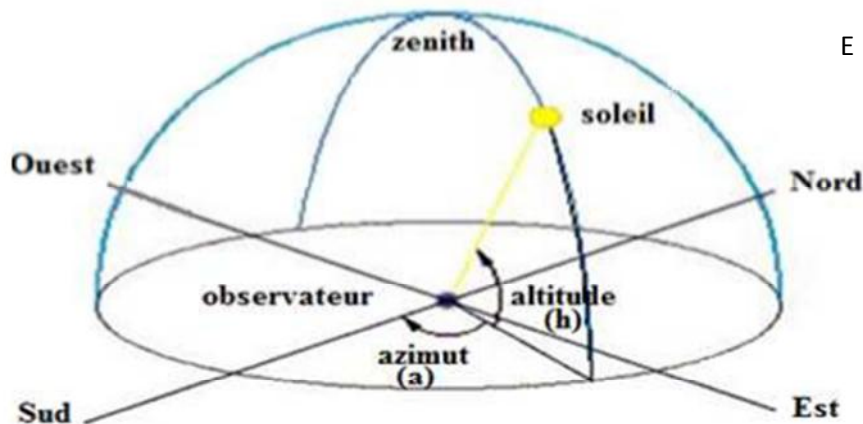


Figure (I-6) : coordonnées horizontales

I.2. 3. Rayonnement solaire [16] :

Le rayonnement émis par le soleil est la manifestation externe des interactions nucléaires qui se produisent au cœur du soleil et de l'ensemble des interactions secondaires qu'elles

gènèrent dans son enveloppe. Ce rayonnement constitue la quasi-totalité de l'énergie expulsée par le soleil.

I.2.3.1. Spectre d'irradiation solaire :

Le spectre d'irradiation solaire peut approximativement se diviser en ultraviolet (UV), lumière visible, infrarouge (IR) et grandes longueurs d'ondes (chaleur).

Le tableau suivant nous donne la gamme de longueur d'onde des différents rayons solaires.

Les rayons		Game de longueur d'onde
Rayons x		0.01 à 1A
Ultraviolet	UV extrême	1 à 100 A
	UV éloigné	10 à 100nm
	UV moyen	100 à 200nm
	UV proche	200 à 300 nm
Rayons gamma		300 à 400nm
Lumière visible		400 à 770 nm
Infrarouge	IR proche	770 à 2500nm
	IR moyen	2.5 à 30 µm
	IR éloigné	30 à 300µm
Ondes hertziennes	Micro-ondes	0.3 à 100 mm
	Radio et télévision	0.1 à 1000 m

Tableau (I-2) : Spectre électromagnétique [15]

I.2.3.2. Rayonnement solaire reçu par le sol [16]:

Le rayonnement solaire qui atteint le sol se compose de :

a) Rayonnement direct E:

C'est le rayonnement émis par le soleil incident sur un plan donné et provenant d'un petit angle solide centré sur le disque solaire. Il est établi par la relation suivante :

$$E_1 = E_0 C e \exp\left(\frac{-F}{\sin h}\right)$$

Avec :

E_0 = constante solaire.

C = Correction de la distance terre-soleil

$$e = 1 + 0,0034 \cos [(n-3) (360)/365].$$

h = hauteur du soleil.

e et **F** : coefficient de trouble du ciel dont les valeurs sont données dans le tableau suivant :

Tableau I.3. Coefficient de trouble du ciel

	Ciel dégagé très pur	Condition normales	Zone industrielle
e	0,87	0,88	0,91
F	0,17	0,26	0,43

Tableau (I-3) :Coefficient de trouble du ciel

▪ **Constante solaire :**

Se dit de l'éclairement énergétique d'une surface au rayon solaire, située à la limite de l'atmosphère, cette valeur est fixe à 1.353 w/m^2 , elle est établi par CLAUDE en 1837. Elle est évaluée par l'expression suivante :

$$E_0 = 1367 [1 + 0,034 \cos (0,986n - 2)]$$

Avec n : le numéro du jour

- ❖ **Dans le cas horizontal:** le rayonnement mesuré sur un plan horizontal est donné par la relation suivante:

$$E_2 = E_1 \sin h$$

- ❖ **Dans le cas d'un plan quelconque:** dans ce cas le rayonnement direct est donné par la formule suivante :

$$E = E_1 \cos \theta$$

Avec :

θ : angle d'incidence des rayons solaires.

$$\cos \theta = \cos \beta_1 \sin h + \sin \beta_1 \cos h \cos (a - \beta_2)$$

β_1 : l'inclinaison du capteur plan par rapport à l'horizon.

a : azimut du soleil

β_2 : angle formé par la projection de la normal au plan du capteur et la direction sud.

b) Rayonnement diffus D :

Il comprend la plus grande partie du rayonnement réfléchi par le sol suivant l'inclinaison de la surface réceptrice, il se compose de :

- **Rayonnement diffus provenant de la voûte céleste :**

L'irradiation diffuse provenant de la voûte céleste reçue sur un plan horizontal s'écrit suivant la formule suivante :

$$D_{1H} = E_0 C \sinh[0,271 - 0,2939 \cdot e \cdot \exp(\frac{-F}{\sin h})]$$

Dans le cas d'un plan quelconque

$$D_1 = D_{1H} \cdot \left[\frac{1 + \cos \beta_1}{2} \right]$$

Avec :

β_1 : inclinaison du plan.

$\left[\frac{1 + \cos \beta_1}{2} \right]$: Le facteur de forme entre le plan et la voûte céleste.

- **Le rayonnement diffusé par le sol :**

Cas d'un plan horizontal :

$$D_{2H} = a^* (E_2 + D_{1H})$$

Avec :

a^* : albédo du sol.

Cas d'un plan quelconque

$$D_2 = D_{2H} \left[\frac{1 - \cos \beta_1}{2} \right]$$

Avec :

$\left[\frac{1 - \cos \beta_1}{2} \right]$: Facteur de forme entre le plan et le sol

c) Le rayonnement global G_T :

C'est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus, donc on peut l'exprimer par :

$$G_T = E + D$$

Avec :

E : rayonnement direct

D : rayonnement diffus.

et

$$D = D_1 + D_2.$$

I.2.1.4. Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire

I.2.1.4.1. Masse d'air

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire subit des modifications spectrales et directionnelles. Les phénomènes d'absorption et de diffusion sont générés par les particules atmosphériques si bien que la lumière connaît une redistribution spatiale donnant lieu à une source de lumière secondaire provenant de l'hémisphère céleste au-dessus de l'horizon. Plus grande est la longueur du parcours de la lumière solaire dans l'atmosphère terrestre, plus grande est l'atténuation de celle-ci avant d'atteindre un éventuel capteur.

Pour tenir compte du trajet parcouru par les photons, on utilise la notion de masse d'air.

Celle-ci est égale au rapport, noté, de la distance parcourue dans l'atmosphère par un rayon en provenance du soleil à l'épaisseur verticale de l'atmosphère mesurée au niveau de la mer.

La masse d'air traversées et définie par :

$$m = \frac{1}{\sin h}$$

h: La hauteur angulaire du soleil.

I.2.1.4.2.L'absorption :

L'absorption est due au différents gaz présents dans l'atmosphère et est caractérisée par de nombreuses bandes d'absorption

- L'ozone absorbe les rayonnements dans les longueurs d'ondes sont inférieures à 290 nm (et particulièrement les ultraviolets nocifs pour les êtres vivants) ainsi qu'une partie du rayonnement dans le rouge.
- L'oxygène présente une bande étroite d'intense d'absorption autour de 760 nm.
- La vapeur d'eau, le gaz carbonique et le méthane constituent les trois principaux gaz qui absorbent la majeure partie du rayonnement solaire de l'infrarouge à l'infrarouge thermique.

I.2.1.4.3.La diffusion

a) Diffusion atmosphérique [7]:

Le rayonnement solaire lors de son passage dans l'atmosphère subit une diffusion qui est la redistribution spectrale du rayonnement par des particules matérielles.

On distingue trois types de diffusion :

- Si $\lambda \gg r$ diffusions moléculaire (diffusion de REYLEIGH).
- Si $\lambda = r$ diffusion par les aérosols (diffusion MIE).
- Si $\lambda \ll r$ diffusions par gouttelettes d'eau et cristaux de nuage.

Avec r : le rayon de la particule diffusante.

b) Energie reçue par le sol :

❖ Notion d'Albédo :

On appelle albédo a^* la fraction de l'énergie incidente diffusée par un corps lumineux, sachant que l'albédo d'un corps noir parfait est nul nature de surface.

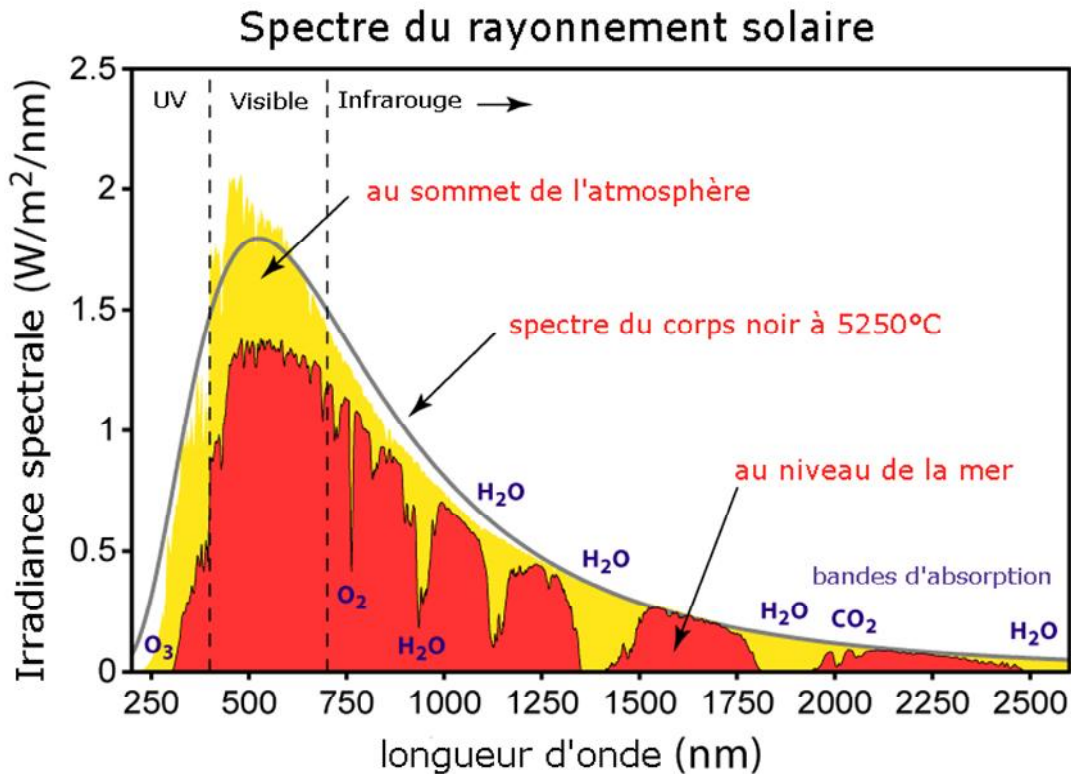


Figure (I-7) : Spectre du rayonnement solaire [7]

I.2.1.5. Insolation :

I.2.1.5.1. Taux d'ensoleillement :

Par ciel clair, sans nuages, le sol reçoit le rayonnement solaire direct pendant toute la durée du jour, ou plus précisément pendant la durée maximale d'ensoleillement SS_0 . On appelle taux d'ensoleillement δ , le rapport entre la durée effective et la durée maximale d'ensoleillement :

$$\delta = \frac{ss}{ss_0} = \frac{\text{durée d'insolation}}{\text{durée d'insolation maximale}}$$

I.2.1.5.2. Insolation potentielle (théorique) SS_0 :

L'insolation potentielle est définie comme étant la valeur de l'insolation de la journée considérée en l'absence de l'atmosphère, elle ne dépend que de la position géographique du lieu considéré, sa formule est comme suit:

$$SS_0(n) = 2/15 \text{ arc cos } (-\text{tg}\phi \cdot \text{tg}\delta)$$

I.2.1.5.3. Durée d'insolation (SS) :

La durée d'insolation est définie comme étant un paramètre temporel caractéristique le rayonnement solaire. Pour une journée donnée, elle représente la somme des intervalles de temps pour lesquels l'intensité du rayonnement solaire dépasse un seuil conventionnel de 100W/m^2 .

I.2.2. Captation Du Rayonnement Solaire :

Pour exploiter ou stocker L'énergie solaire il faut la convertir en une autre forme d'énergie, pour cela on utilise les capteurs solaires. Selon la conversion d'énergie on distingue deux catégories de capteurs solaires :

- Capteurs solaires photovoltaïques;
- Capteurs solaires thermiques.

Dans notre travail uniquement aux s'intéressera capteurs solaires thermiques.

I.2.2.1. Capteurs solaires thermiques :

Ce sont des capteurs qui transforment l'énergie solaire en énergie thermique, utilisés pour le chauffage des locaux, la production d'eau chaude sanitaire à basse température, on distingue deux catégories de capteurs solaires thermiques :

- Capteurs à circulation de fluide;
- Capteurs à air.

I.2.2.1.1. Capteurs à circulation de fluide :

Ce sont des capteurs où le fluide caloporteur qui circule c'est un liquide (eau, huile, un fluide thermique, antigel).

Les capteurs solaires à circulation de liquide les plus répandus sont :

- les capteurs plans ;
- les capteurs à concentration.

A. Capteur plan (ou isolateur):

C'est un élément très simple, comportant un absorbeur métallique qui transforme le rayonnement solaire en chaleur, transmet cette chaleur à un liquide caloporteur ; cet absorbeur est monté dans un boîtier isolé recouvert d'un verre ou d'une feuille en matière synthétique

hautement transparente. L'absorbeur comporte une couche noire souvent sélective qui absorbe efficacement le rayonnement solaire et réduit les pertes par rayonnement. Le schéma suivant présente la structure d'un capteur plan

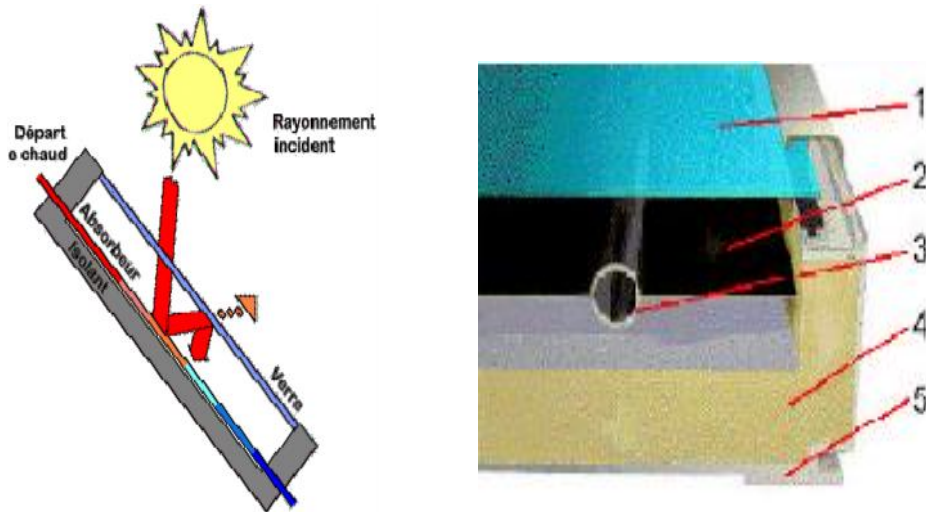


Figure (I-8) : Coupe d'un Capteur Solaire Plan.

1. Un ou plusieurs couverts transparents.
2. Une plaque absorbante.
3. Un circuit hydraulique pour l'évacuation du fluide.
4. Une isolation thermique.
5. Un bac portant le tout.

Il existe trois types de capteurs solaires plans :

- Capteurs plans vitre ;
- Capteurs plans non vitre ;
- Capteurs plans à haute performance.

a. Capteurs plan vitrés :

Pour des niveaux de températures de 35° à 90°c, il est nécessaire d'utiliser des capteurs avec vitrage. L'absorbeur est dans ce cas, métallique (en cuivre ou en aluminium, dans un caisson isolé en face arrière, et vitré en face avant.

La fonction du vitrage est de piéger le rayonnement en créant un effet de serre.

Ce type de capteur est utilisé généralement pour la production d'ECS.

Dans notre travail on s'intéressera à ce type de capteur.

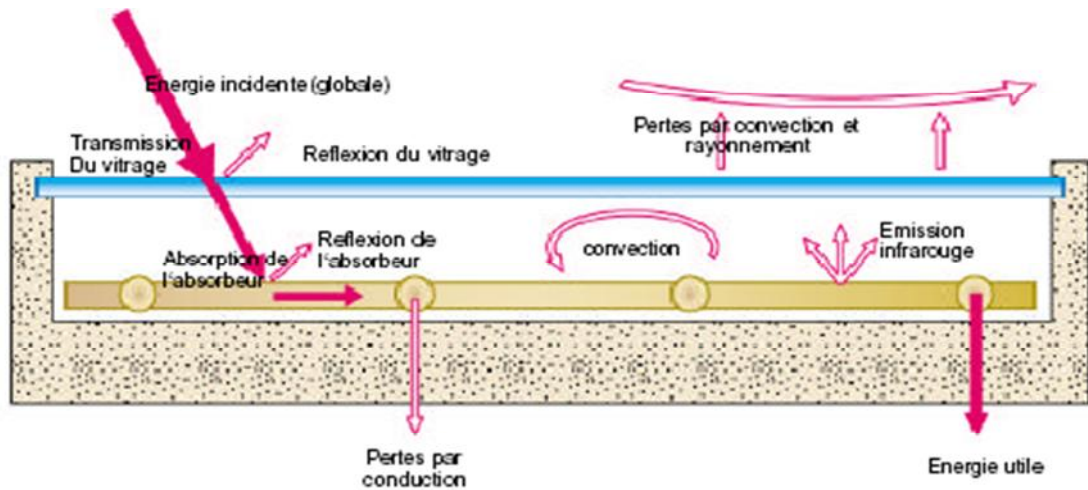


Figure (I-9): Capteur plan vitré à pertes thermique [1].

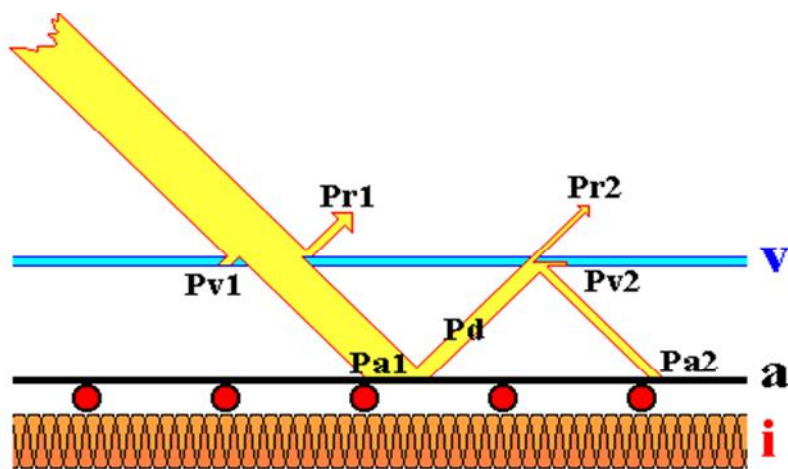


Figure (I-10): Capteur plan vitré à effet de serre[11].

Principe de l'effet de serre :

Le fonctionnement de tout capteur à basse température se fait par effet de serre, cet effet s'explique que par le fait que le verre est un matériau quasiment transparent au rayonnement solaire, alors il est presque opaque au rayonnement infrarouge.

Le rayonnement solaire ne traverse pas entièrement la vitre V du capteur car une petite partie Pr1 est réfléchiée par la vitre, surtout, si l'angle d'incidence est fort, malgré l'excellente transparence du verre, une petite partie Pv1 de l'énergie reçue sera absorbée par le verre. Du

rayonnement reçue par l'absorbeur a Pa1, une partie Pd sera re-rayonnée ou communiquée à l'air ambiant par convection.

Une partie Pr2 de Pd va traverser la vitre et le reste sera perdu définitivement ; une autre partie Pv2 sera absorbée par la vitre et le reste retournera vers l'absorbeur Pa2, on négligera les pertes au travers de l'isolant [11].

b. Capteurs plans non vitrés :

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

c. Capteurs plan à haute performance :

- Capteurs plans sélectifs :

Certains absorbeurs ont un revêtement sélectif dont la propriété est d'émettre qu'une faible portion de l'énergie absorbée (7 à 20%). Pour la plupart des capteurs ce type de revêtement est à base de nickel et de chrome. L'absorbeur sélectif améliore le rendement du capteur. Cette particularité est d'autant plus intéressante pour des climats froids et pour des applications nécessitant des températures importantes (eau chaude par exemple).

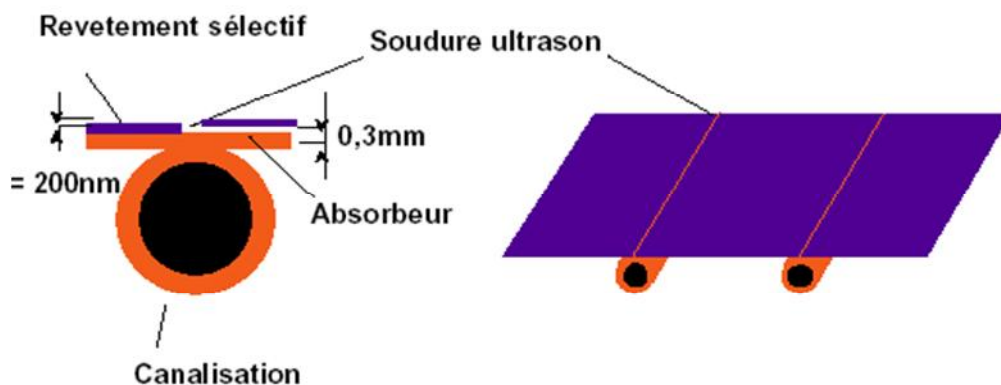


Figure I -11 Absorbeur et revêtement sélectif[1].

- **Capteurs plans sous vide**

Les capteurs sous vide permettent d'atteindre des températures plus élevée (jusqu'à 120°C). Ils sont constitués de tubes en verre dans lesquels se trouve un absorbeur sélectif. Le vide réalisé dans les tubes permet de diminuer fortement les pertes thermiques du capteur. L'autre avantage de ce capteur est de pouvoir être disposé suivant n'importe quelle inclinaison ce qui facilite son intégration.

Ces capteurs conviennent bien à la production d'EC en montagne ou dans les pays du nord compte tenu de leur bon rendement pour des températures extérieures basses. On distingue trois types de tubes sous vides:

- Tubes sous vides à flux direct;
- Tubes sous vides à caladuc;
- Tubes sous vides type «Sydney».



Figure I.12 :Capteur sous vide [1]

B. Capteurs à concentration :

Ce sont des capteurs qui concentrent le rayonnement solaire sur un tuyau où circule le fluide caloporteur. Une orientation permanente est nécessaire pour obtenir un bon rendement, ce type de capteur est destiné à produire de hautes températures (arrivant jusqu' à 400°C).

- **Types de concentrateurs :**

Selon la géométrie on distingue trois formes de concentrateurs ;

b-1) Concentrateurs sphérique ;

b-2) Concentrateurs parabolique ;

b-3) concentrateurs cylindro parabolique.

I.2.2.1.2. Capteurs à air :

Comme leur nom l'indique produisant de l'air chaud, ces capteurs sont indiqués dans certaines installations de ventilation, d'aération douce, de chauffage des locaux et dans le cas du chauffage à air : on peut directement faire passer l'air à réchauffer à travers le capteur. Une application particulière de ces capteurs est le séchage du foin, ils sont légers et n'ont pas de problème de refroidissement ni d'ébullition c'est l'avantage par rapport aux capteurs à liquide.

I.2.2.2. Éléments de construction d'un capteur plan :

A. Le boîtier :

Le boîtier constitue l'enveloppe arrière et latérale de l'appareil, il est constitué de matériau choisis, tels que les métaux en feuille ou profilé, matériaux en plastique armé et même le contreplaqué ; les métaux les plus utilisés sont l'acier galvanisé ou galvanisé pré laqué et les alliages d'aluminium.

On rencontre deux structures de boîtier :

a. Boîtier simple :

Il est constitué d'une seule épaisseur de matériau en forme de bac dans lequel sont montés l'isolation et l'absorbeur.

b. Boîtier double:

Possède une structure en caisson qui lui confère une plus grande rigidité et permet une meilleure intégration de l'isolation.

B. La couverture transparente :

C'est la partie à travers laquelle le rayonnement atteint la surface de l'absorbeur. L'une de ses caractéristiques est de réaliser l'«effet de serre».

Les matériaux les plus utilisés sont :

- le verre;

- les polycarbonates (Lexan, Makrolon);
- Les polymétacrylates de méthyle (Plexiglas, Altuglas).

En ce qui concerne les verres, on préférera ceux dont le taux d'oxyde de fer est le plus faible (verre horticole par exemple). On rencontre également des couvertures transparentes multiples (doubles) et des couvertures constituées par un film souple transparent tel que Mylar ou Tedlar; parmi les fonctions de la couverture transparente on peut citer:

- la protection de l'absorbeur et l'isolation thermique;
- fait partie de l'isolation thermique;
- Elle réfléchit le rayonnement au minimum et absorbe la lumière aussi le plus possible de sorte que la totalité du rayonnement atteint la surface de l'absorbeur.

C. L'absorbeur :

C'est dans l'absorbeur, organe central du capteur que l'eau du circuit de stockage vient prélever la chaleur du soleil, les fonctions de cette partie de capteur sont à la fois thermiques et hydrauliques, on distingue deux catégories d'absorbeurs:

➤ Absorbeur a film d'eau:

Où le liquide caloporteur vient en contact de la majeure partie de la surface absorbante.

➤ Absorbeur a tubes:

Où le liquide circule dans les tuyauteries vers lesquelles la chaleur solaire est drainée par un système d'ailettes conductrices de la chaleur.

L'utilisation de tubes permet une meilleure résistance à la pression.

L'absorbeur doit être fait d'un matériau ayant une bonne conductibilité thermique, on emploie généralement une feuille de cuivre ou d'aluminium de 0,2 mm d'épaisseur avec des variantes de 0,15 → 0,3mm.

Dans ces deux types d'absorbeurs, on rencontre une grande variété de matériaux tels que l'acier galvanisé, l'acier noir et l'inoxydable, le cuivre et même les matières plastiques telles que le polyéthylène teinté en noir dans la masse.

D. L'isolation thermique :

Pour constituer l'isolation arrière et latérale on utilise plusieurs sortes d'isolants dans l'ordre de leur fréquence d'utilisation, on trouve:

- La mousse de polyuréthane;
 - Les fibres minérales ou laine de verre ou de roche;
 - Polystyrène;
 - Résine de mélamine.
- ❖ La mousse de polyuréthane est utilisée en panneaux, par injection, en particulier dans les boîtiers doubles, auxquels elle confère une bonne rigidité, sa tenue en température est correcte.
- ❖ Les fibres minérales ou laine de roche ou de verre sont beaucoup moins sensibles à la température par contre leur sensibilité à l'humidité est très marquée et se manifeste par la perte de leur pouvoir isolant si le matelas vient à être mouillé par infiltration ou condensation.

On rencontre aussi des isolations à deux matériaux par exemple laine de verre et polyuréthane ou même laine de verre et polystyrène

Le matériau synthétique est placé en fond de boîtier étant alors protégé par la laine de verre, résiste beaucoup mieux que s'il est en contact direct avec l'absorbeur.

E. Fluide caloporteur :

Ces fluides ont pour rôle de véhiculer la chaleur entre l'absorbeur et l'utilisation ou le stockage.

Le fluide caloporteur est transporté par la pompe du groupe hydraulique solaire à travers le circuit solaire dans l'accumulateur solaire où la chaleur des capteurs solaires plans est transmise à l'eau sanitaire. Un produit antigel est ajouté au fluide pour que l'installation ne puisse pas geler en hiver et que des dommages dus au gel soient ainsi évités. Le fluide caloporteur non toxique et physiologiquement inerte est harmonisé sur les grandes variations de température allant de -30°C jusqu'à $+200^{\circ}\text{C}$.

On utilise principalement quatre sortes de fluide

a- L'eau: soit naturelle ou additionné d'antigel

b- Les gilothermes: sont des biomides organiques à base polyphémiles hydrogénés ou d'hydrocarbures linéaires, dont il existe une dizaine de variété. trois d'entre eux semble particulier adaptés au cas de l'énergie solaire :

HVS13 pour : $-25^{\circ}\text{C} < T < 180^{\circ}\text{C}$

ADX10 pour $50^{\circ}\text{C} < T < 260^{\circ}\text{C}$

TH pour $0^{\circ}\text{C} < T < 340^{\circ}\text{C}$

c- L'air : Par rapport à l'eau, l'air a beaucoup d'avantages, citons qu'il n'y a pas de problème de corrosion, Pas de problème de gel en hiver ou d'ébullition en été.

Mais les transferts thermiques sont moins bons qu'avec l'eau, et les conduites doivent avoir une importante section, pour laisser passer un débit suffisant.

d- Huiles silicones: leur prix actuel ne permet pratiquement pas de les utiliser, mais elles présentent deux avantages importants :

- Non toxiques.
- Non inflammables

1.2.2.3. Orientation et inclinaison d'un capteur plan :

- **Orientation:**

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

- **L'inclinaison:**

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

I.2.2.4. Raccordement des capteurs :

- **Raccordement des capteurs en série :**

Dans ce type de montage, la sortie du premier capteur est reliée à l'entrée du deuxième capteur dont la sortie est reliée à l'entrée du troisième capteur et ainsi de suite.

Plus le parcours du fluide caloporteur est long, plus les températures obtenues à la sortie du dernier capteur sont élevées

- **Raccordement des capteurs en parallèle :**

Dans ce cas, l'eau arrive à chaque capteur par une conduite de distribution qui parcourt les bords inférieurs, alors que l'eau chaude est prélevée par l'intermédiaire d'une autre conduite placée le long du bord supérieur du capteur. Il est donc important dans ce type de raccordement que le circuit soit bien équilibré de façon à ce que le débit du fluide caloporteur soit distribué également dans les divers capteurs. Figure (I.13)

- **Raccordement mixte :**

Il s'agit d'un montage qui combine le mode série et le mode parallèle .Il en résulte une distribution plus uniforme de l'écoulement et donc des températures. Il existe deux types de raccordement mixte, particulièrement indiqués pour les installations de grande dimension.

- Le raccordement série parallèle.
- Le raccordement parallèle série.

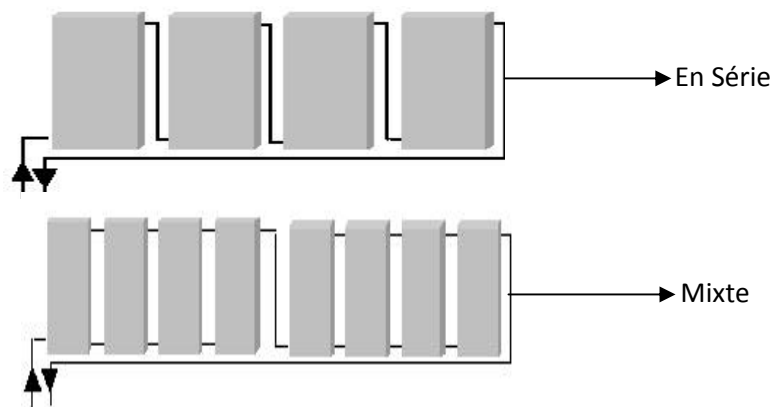


Figure I- 13 : Disposition des Capteurs

I.2.2.5 Implantation des capteurs:

Indépendamment des considérations sur l'orientation du capteur azimut et angle d'inclinaison, les éléments architecturaux et visuels jouent un rôle important dans le positionnement d'un champ de capteurs.

➤ Types d'implantation du capteur solaire :

Quel que soit le type d'implantation, on doit porter une attention particulière aux matériaux utilisés, ainsi qu'à la mise en œuvre. Comme les composants sont exposés aux intempéries pendant une très longue période (20 à 30 ans environ) ils doivent résister:

- À la variation de température dans les limites prévues ;
- A la pluie, la grêle et la neige ;
- Au rayonnement U.V ;
- Aux matières polluantes et corrosives (telles que le sel dans la région côtière).

Dans la pratique on trouve plusieurs types d'implantation.

- ❖ Montage au sol.
- ❖ Montage sur toiture inclinée
 - Posés sur toiture.
 - Intégration à une toiture inclinée.
- ❖ Montage en toiture-terrasse.

I.3.1 Les composants d'un chauffe-eau solaire :

Un chauffe-eau-solaire est composé principalement de deux éléments essentiels :

- La cuve de stockage,
- Le capteur solaire.

Auquel sont rajoutés d'autres composants à savoir: les conduites de circuit, une pompe, un clapet anti-retour, une vase d'expansion, une soupape de sécurité, les robinets de vidange, les purgeurs et un régulateur.

I.3.1.1 : La cuve de stockage :

La cuve de stockage est un élément essentiel dans l'installation de chauffage d'eau solaire.

Comme son nom l'indique, elle permet de stocker l'eau chaude venant des capteurs pour la restituer au moment des besoins d'utilisation, elle peut contenir ou non un échangeur de chaleur.

Aussi pour éviter les pertes thermiques vers le milieu extérieur, la cuve de stockage doit être bien isolée en choisissant une épaisseur de l'isolant thermique et économique adéquate. Le stockage est caractérisé par :

- Le mode d'accumulation de chaleur (sensible ou latente).
- La capacité thermique du stock.
- Les pertes thermiques du stockage.

Suivant la capacité de stockage on distingue deux types :

- Stockage long duré (inter saisonnier).
- Stockage court durée (ne dépassant pas quelques journées ou quelques heures).

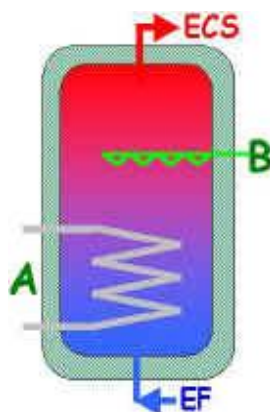


Figure (I.15):La cuve de stockage avec échangeur

I.3.1.2 La tuyauterie

La tuyauterie sert au transfert du fluide caloporteur, son étude et son installation doivent être suivies avec soin pour éviter de graves ennuis.

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

Les tuyaux doivent être soigneusement calorifugés, le circuit de fluide caloporteur comprend plusieurs appareils dont les principaux composants sont ;

- Une Soupape de sécurité ;
- Un vase d'expansion ;
- Un Purgeur ;
- Un clapet de non-retour ;
- Une isolation.

I.3.1.3 :L'échangeur:

Un échangeur de chaleur est un appareil dans lequel circulent deux fluides séparés par une paroi et qui échangent de la chaleur ; l'un se refroidit pendant que l'autre s'échauffe.

Le plus souvent, il est intégré dans la cuve de stockage mais il peut aussi être à l'extérieur.

De part sa fonction de transfert thermique, l'échangeur doit offrir une surface de contact la plus grande possible entre fluides, c'est pourquoi la plupart des échangeurs ont l'aspect d'un serpent

Remarque: les échangeurs externes seront des échangeurs à plaques et les échangeurs internes seront du type à serpent; dans notre installation l'échangeur utilisé est de type serpent. Voici les deux types des échangeurs.



Echangeur à plaque



Echangeur intégré

Figure (I.16). Types d'échangeurs [1]

I.3.1.4.L'appoint :

Une installation de chauffage d'eau solaire est toujours accompagnée d'un chauffage d'appoint lorsque la température désirée de l'eau dans la partie supérieure du ballon de stockage n'est pas atteinte, un dispositif d'appoint pour fournir de l'eau chaude supplémentaire doit être prévu.

Ce chauffage peut se faire dans une autre cuve qu'on appelle cuve d'appoint ou dans la même cuve. Ainsi, en tout temps, l'appoint permet de garantir une eau à la température voulue, quel que soit l'ensoleillement et la quantité d'eau chaude consommée.

La source d'énergie d'appoint peut être le gaz, l'électricité, le fuel, selon le besoin et la disponibilité.

I.3.1.5.Le clapet anti-retour :

Le clapet anti-retour a pour fonction d'empêcher, dans les systèmes sans vidange qu'un effet de thermosiphon n'entraîne une inversion du circuit primaire en cas d'arrêt de la pompe.



Figure (I.17) : Clapet anti-retour

I.3.1.6. Vase d'expansion :

La vase d'expansion doit permettre l'expansion du fluide caloporteur et permettre d'absorber le volume de ce dernier expulsé du capteur solaire lorsqu'un phénomène d'ébullition survient, et cela sans hausse excessive de la pression.

I.3.2.1. Le fonctionnement d'un chauffe-eau solaire :

Le fonctionnement est simple, il consiste un transfert de l'énergie solaire absorbée par les capteurs (chaleur) vers un système de stockage (ballon). Le transfert est exécuté au moyen d'un liquide caloporteur. Le liquide caloporteur doit se déplacer du capteur solaire vers le ballon (où il échange sa chaleur, pour réchauffer l'eau froide contenue dans celui-ci), l'eau refroidie retournant au capteur ou à nouveau elle sera réchauffée par le rayonnement solaire.

Dans son trajet capteur –réservoir- capteur, l'eau pourra circuler d'elle-même (circulation naturelle) où être entraînée par une petite pompe (circulation forcée). Les positions relatives de l'insolateur et du réservoir sont essentielles pour décider du fonctionnement de l'ensemble.

Il existe différentes catégories de chauffe-eau solaires individuels, qui dépendent essentiellement des conditions climatiques des régions dans lesquelles ils sont utilisés.

I.3.3 Les types de chauffe-eau solaire :

A. Le chauffe-eau solaire à circulation naturelle (thermosiphon) :

A.1 . Chauffe-eau solaire à thermosiphon sans échangeur :

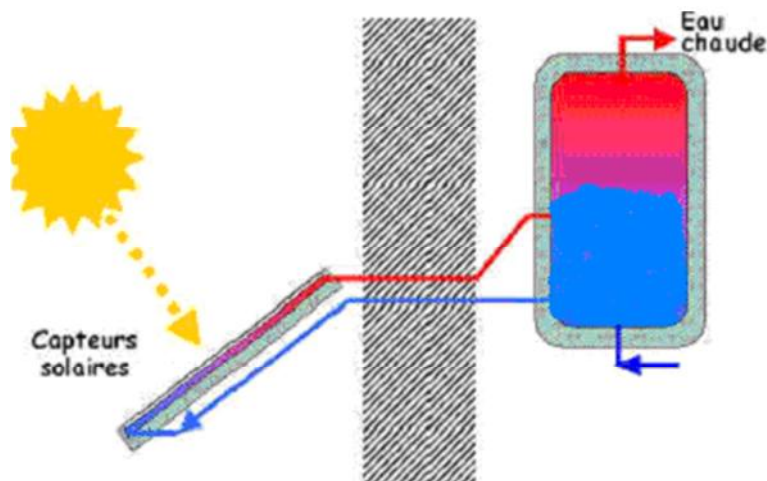


Figure I-18: Chauffe- eau solaire thermosiphon sans échangeur de chaleur.

L'eau chauffée dans le capteur est envoyée dans le réservoir de stockage, elle est remplacée dans le capteur par l'eau froide, qui s'échauffe à son tour et ainsi de suite. La circulation de l'eau dans le circuit doit être continue tant qu'il y a du soleil et de l'eau à réchauffer, elle est généralement assez lente.

L'eau chaude plus légère que l'eau froide s'accumule d'abord dans le haut du réservoir [14].

A.2. Chauffe-eau solaire a circulation naturelle avec échangeur

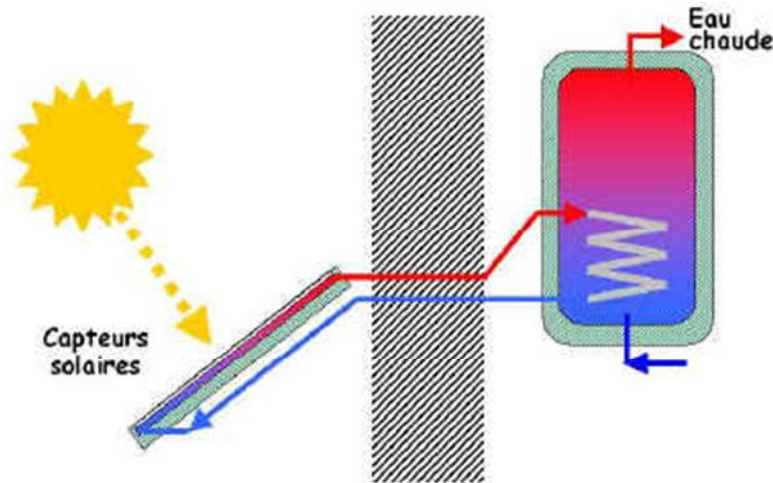


Figure I.19 :Chauffe-eau Solaire en Thermosiphon avec Echangeur

L'eau chaude venant du capteur circule à l'intérieur du réservoir dans un échangeur de chaleur: au contact de l'eau froide du réservoir, elle cède ses calories à travers la paroi de l'échangeur et retourne se réchauffer dans le capteur.

L'eau chauffée dans le capteur reste ainsi dans un circuit fermé appelé «Circuit primaire».

L'eau chauffée au contact de l'échangeur, monte au haut du réservoir, l'eau froide descend et se fait réchauffer dans le bas du réservoir.

Nous verrons à propos du gel et de l'entartrage l'intérêt qu'on peut avoir en utilisant un échangeur [14].

B. Chauffe- Eau Solaire avec Circulateur (circulation forcée) :

On fait appel à un circulateur électrique (pompe) pour faire circuler l'eau ,ce dernier donne une charge plus grande qu'en thermosiphon et la vitesse de l'eau est plus importante, de même, cela nous permet d'utiliser de tuyaux de petit diamètre.

Le débit de l'eau est en fonction de:

- La puissance de circulateur.
- Les pertes de charge du circuit.

B.1. Le Chauffe-Eau Solaire avec Circulateur avec Echangeur à l'Intérieur de la cuve :

Le fluide circulant dans le circuit primaire (capteur, échangeur- capteur), est en général différent de l'eau stockée dans la cuve, ainsi un certain fluide caloporteur va circuler dans le circuit primaire en absorbant de l'énergie calorifique à l'intérieur du capteur, en suite il va céder le maximum de cette énergie à travers l'échangeur à l'eau stockée dans la cuve.

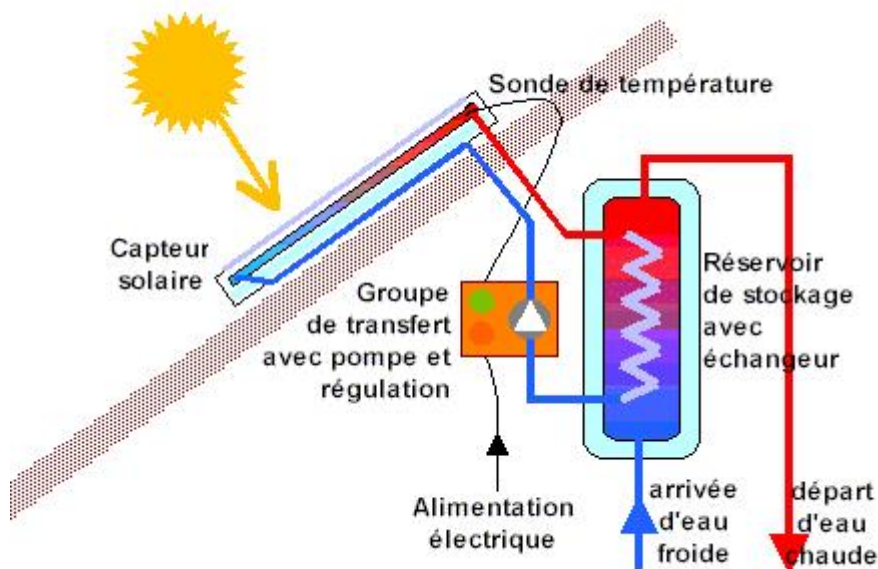


Figure I.20 Chauffe-Eau avec Circulateur avec Echangeur à l'Intérieure de réservoir de stockage

L'avantage de ce chauffe-eau est que le capteur n'est pas soumis à la pression du réservoir et l'inconvénient est qu'il y a moins d'énergie calorifique.

B.2 Chauffe-eau solaire avec circulateur avec échangeur à l'extérieur de réservoir de stockage

Cette installation est composée de trois boucles principales dans laquelle circule de l'eau ou un fluide antigel .

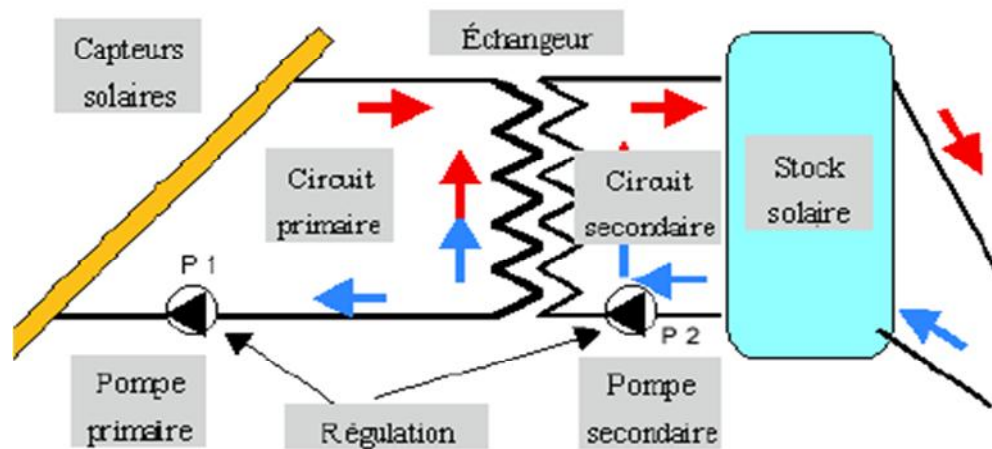


Figure I-21 Chauffe-Eau avec Circulateur avec Echangeur à l'extérieur du réservoir stockage [12].

La boucle primaire: c'est une boucle fermée entre les capteurs et l'échangeur, le fluide est chauffé dans les capteurs solaires puis se refroidit en transmettant sa chaleur à la boucle secondaire dans l'échangeur.

La circulation se fait lorsque l'énergie solaire disponible est suffisante pour chauffer l'eau dans les capteurs, le système de régulation pilote la marche et l'arrêt de la pompe primaire en fonction de l'ensoleillement, et/ou des températures dans les circuits primaires et secondaires.

La boucle secondaire : c'est une boucle ouverte entre l'échangeur et le stocke solaire, c'est l'eau chaude sanitaire qui circule dans cette boucle.

L'eau de stockage solaire est chauffée dans l'échangeur, elle se refroidit lorsqu'il y a utilisation d'eau chaude, la température de l'eau se situe dans une fourchette un peu plus restreinte que dans la boucle primaire avec un maximum de l'ordre 90°C.

La circulation se fait lorsque la boucle primaire est en mesure de chauffer la boucle secondaire, le système de régulation pilote la marche et l'arrêt de la pompe secondaire en fonction des températures dans les circuits primaires et secondaires et de l'état de la pompe primaire.

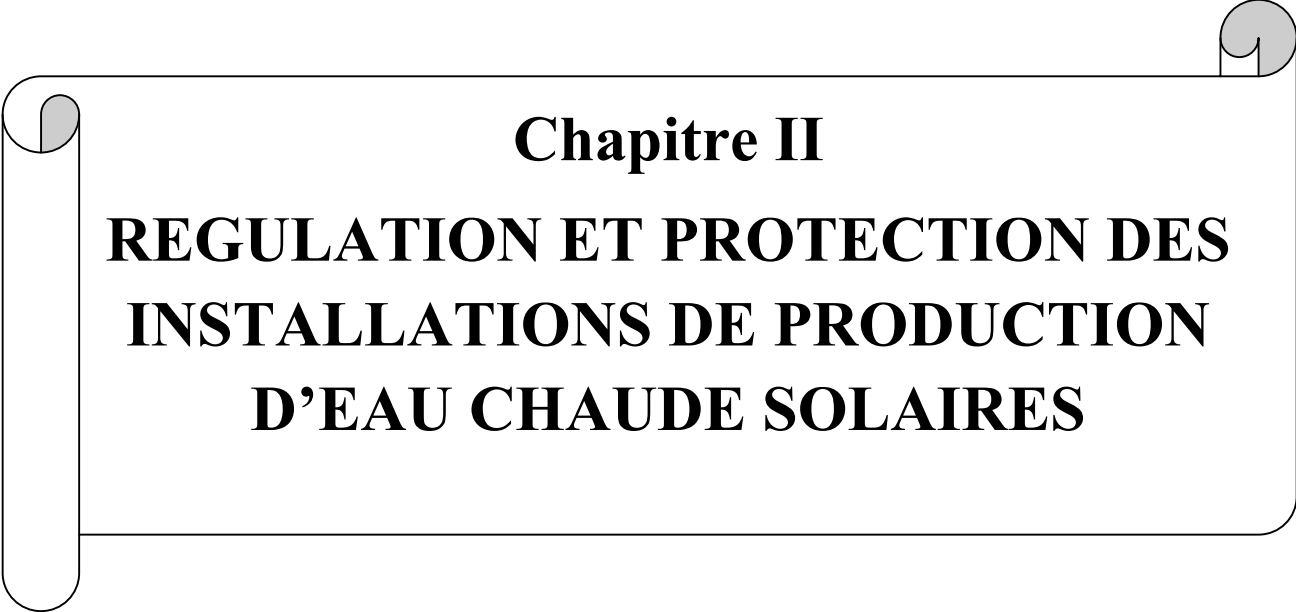
La boucle de distribution : c'est une boucle ouverte, l'eau froide en provenance du réseau pénètre dans le bas du réservoir, l'eau chaude sort par le haut.

Conclusion:

Les installations solaires peuvent être utilisées dans tous les climats pour produire de l'eau chaude, mais leurs performances annuelles sont proportionnelles à l'ensoleillement du lieu où sont installés les capteurs solaires.

Le choix entre les types de capteurs solaires est déterminé par le type d'application recherchée, la fiabilité, le prix et les températures souhaitées.

Pour la production d'eau chaude sanitaire ont choisi généralement les capteurs plans avec vitrage.

A decorative frame resembling a scroll, with a vertical bar on the left side and rounded corners. The text is centered within this frame.

Chapitre II
REGULATION ET PROTECTION DES
INSTALLATIONS DE PRODUCTION
D'EAU CHAUDE SOLAIRES

Chapitre II: Régulation et protection des installations de production d'eau chaude solaires

II.1 Introduction :

La recherche du confort, de la maîtrise de la température et les économies d'énergies possibles conduit à se doter d'un système de régulation. En effet dans les installations de productions d'eau chaude solaires deux éléments nécessitent un système de régulation qui est les pompes et l'appoint électrique.

II.2 Régulation de l'appoint :

Il arrive fréquemment que le soleil soit absent ou ne puisse fournir qu'une partie de la chaleur représentée par le besoin d'eau chaude. Il y'a donc lieu de faire appel à une énergie d'appoint pour compléter l'apport solaire jusqu'à une température suffisante, parmi les énergies d'appoint les plus utilisées on cite l'énergie électrique.

Un système de régulation de température est nécessaire afin de profiter de l'énergie solaire qui est gratuite au maximum, à cet effet nous avons choisi un système de régulation qui s'adapte à tous les systèmes de chauffages. Ce dispositif fonctionne avec le mode tout ou rien c'est à dire en enclenchant ou en déclenchant l'appoint électrique.

II.2.1 DESCRIPTION DU SYSTEME:

Figure II .1 montre l'emplacement du régulateur de température et l'appoint électrique dans la cuve de stockage du chauffe-eau solaire dans deux cas :

- Le ballon de stockage et le ballon solaire sont confondus ;
- Le ballon de stockage et le ballon solaire sont séparés.

Chapitre II: Régulation et protection des installations de production d'eau chaude solaires

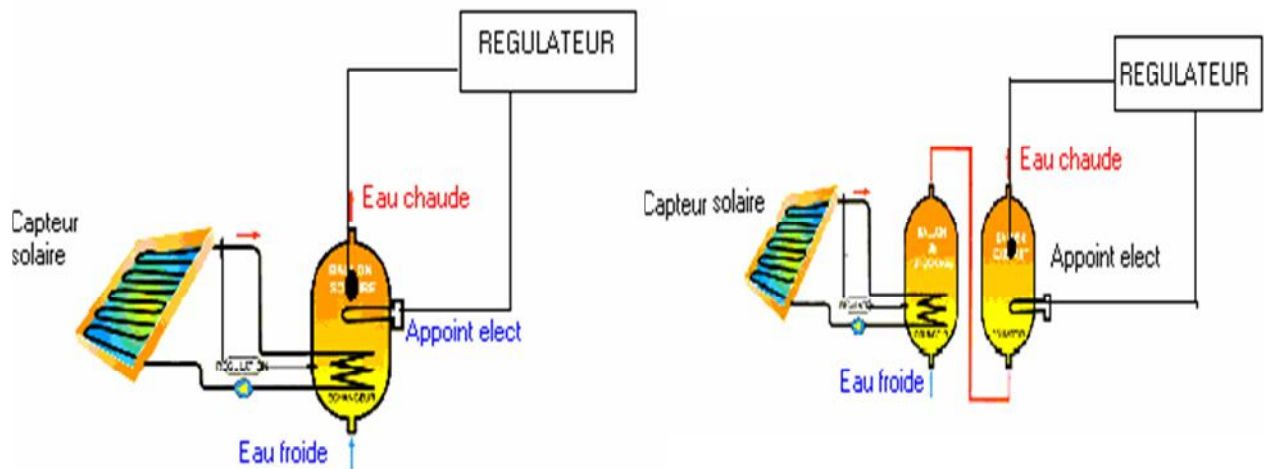


Figure II.1: L'emplacement de l'appoint électrique et régulateur quand les ballons sont confondus et séparés respectivement. [13]

II.2.1.1. Le régulateur comporte :

1. Un capteur de température ;
2. Un dispositif qui permet de traduire les variations de la sonde en un signal électrique afin d'obtenir une information analogique directement exploitable ;
3. Un comparateur de tension qui permet de comparer la tension de sortie du dispositif à une tension de référence prédéterminée qui représente la température de consigne (55°C dans notre cas) ;
4. Comparateur à deux seuils, pour introduire la notion d'hystérésis ou retard de basculement ;
5. Un dispositif de commande: la sortie du comparateur commande via une interface de puissance un relais électromécanique qui permet l'enclenchement ou le déclenchement de l'appoint électrique ;
6. Partie alimentation: l'énergie nécessaire au fonctionnement du circuit est prélevée du réseau.

Le fonctionnement de ce système est tracé dans un graphe sur lequel on distingue trois phases :

- La première phase concerne le début de la journée où les apports solaires sont

Chapitre II: Régulation et protection des installations de production d'eau chaude solaires

insuffisants pour réchauffer l'eau à une température qui satisfait le besoin réel en eau chaude, donc la résistance est enclenchée ;

- La deuxième phase commence au moment où la température de l'eau dans la cuve de stockage croissant avec les apports solaires, le régulateur intervient pour déclencher la résistance électrique, en respectant la température de consigne qui est de 55°C dans notre cas ;
- La dernière partie de la journée, la température de l'eau diminue avec la fin de l'ensoleillement et le régulateur intervient pour enclencher la résistance électrique.

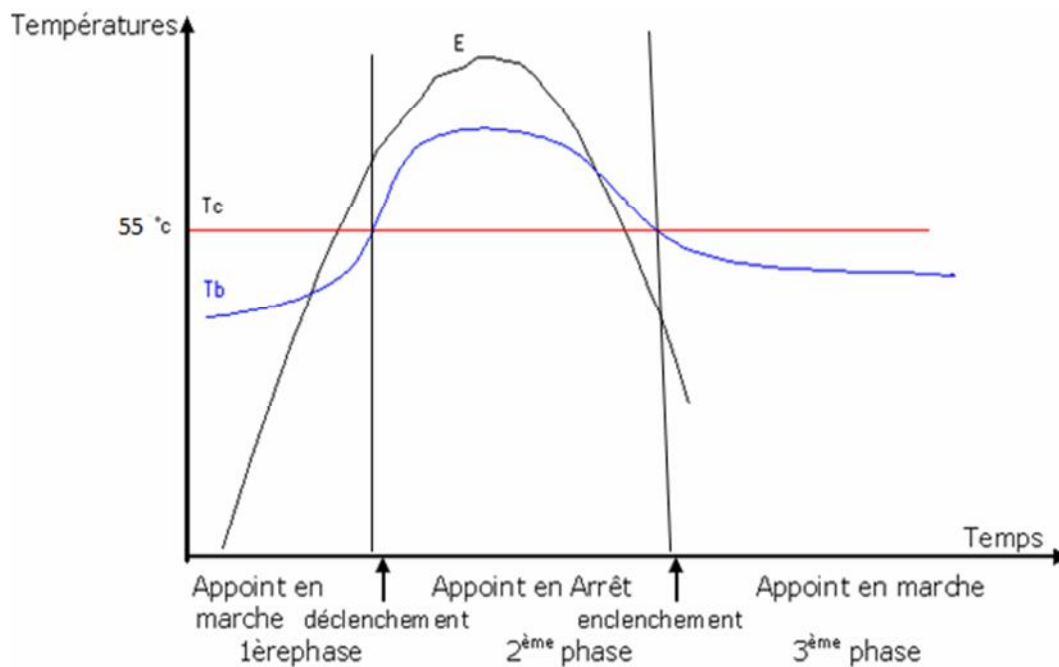


Figure II.2 : Graphe de fonctionnement du système de régulation TOR [4].

Chapitre II: Régulation et protection des installations de production d'eau chaude solaires

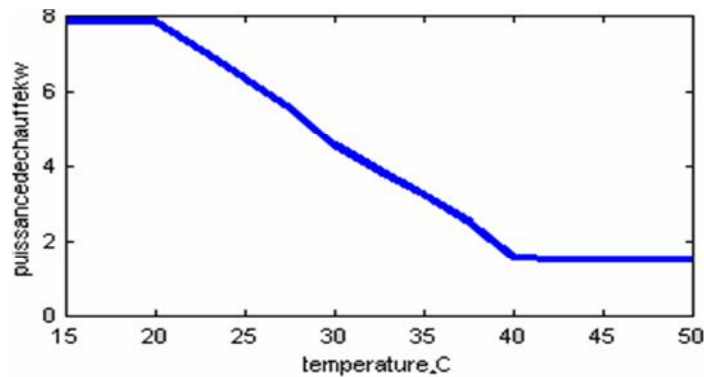


Figure II.3 : Courbe représentant la Puissance de chauffe en fonction de la température par centre de gravité [4]

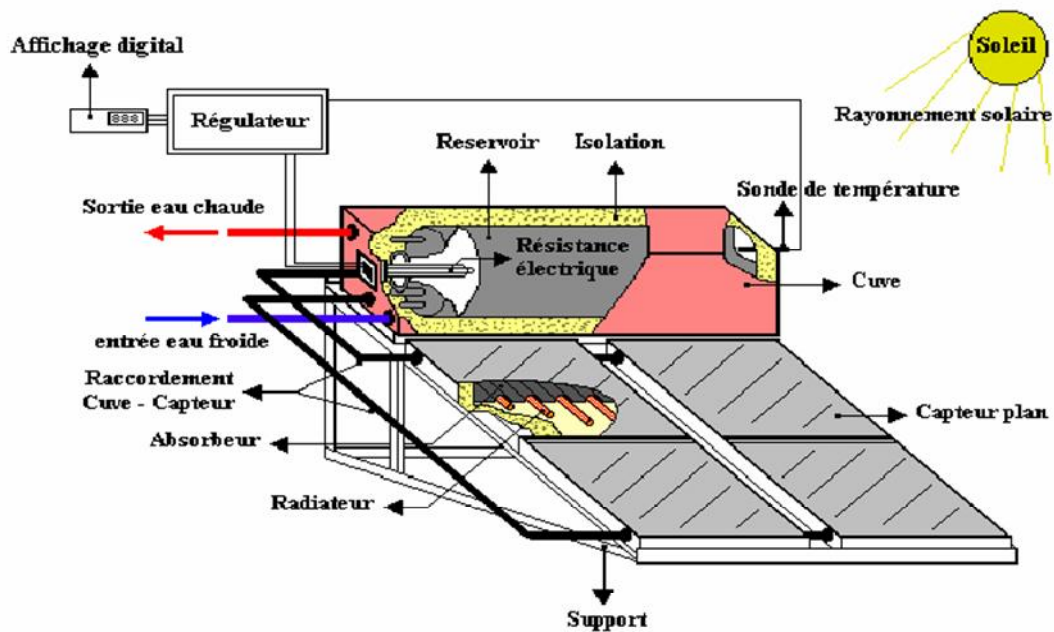


Figure II.4: Schéma synoptique d'un régulateur [4]



Figure II.5: Régulateur[4].

II.3. REGULATION DES POMPES :

Le rôle de la pompe de circulation est de permettre un transfert plus rapide des calories captées par l'absorbeur vers le réservoir de stockage. L'utilisation de cette pompe permet aussi d'interrompre le transfert de chaleur lorsque l'eau des capteurs n'est pas plus chaude que celle contenue dans le réservoir.

C'est le rôle de la régulation de comparer les deux températures (à la sortie du capteur solaire et dans le réservoir de stockage) et de commander la pompe de circulation uniquement lorsque la première température est supérieure à la deuxième. En pratique, on fixe indépendamment la différence de température à l'enclenchement (entre 5 et 10°C) et au déclenchement du Circulateur (entre 2 et 5°C). Un régulateur différentiel suffit pour ces opérations.

II.3.1 Régulation différentielle :

Le rôle du dispositif de régulation est de commander le transfert de l'énergie captée, seulement si la température du fluide caloporteur dans les capteurs est supérieure à celle de l'eau contenue dans le ballon de stockage

Chapitre II: Régulation et protection des installations de production d'eau chaude solaires

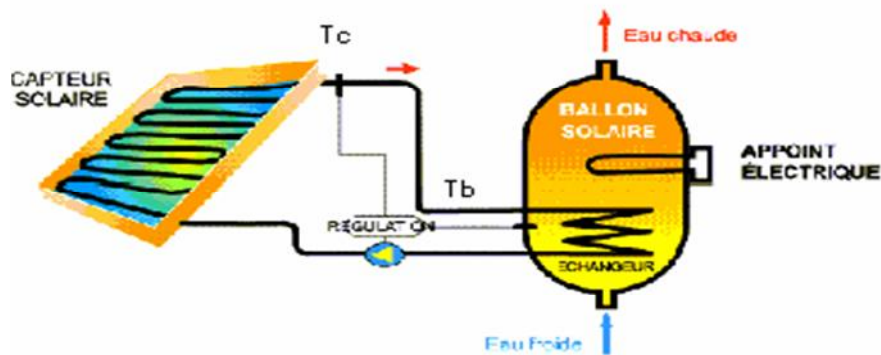


Figure II.6: Schéma simplifié d'une régulation différentielle [4].

Le principe de la commande du circulateur dépend de deux valeurs ajustables du différentiel:

- ❖ ΔT_1 = valeur ajustable du différentiel d'enclenchement du circulateur
- ❖ ΔT_2 = valeur ajustable du différentiel d'arrêt du circulateur avec: $\Delta T_2 < \Delta T_1$

La pompe est enclenchée lorsque $T_c > T_b + \Delta T_1$.

Et La circulation du fluide caloporteur s'établit dans les capteurs. Par contre lorsque $T_c < T_b + \Delta T_2$

La pompe s'arrête et la circulation du fluide caloporteur est interrompue

Pour assurer de bonnes conditions de fonctionnement des installations, on retient en général les valeurs suivantes :

- ΔT_1 : Compris entre 5° K à 8° K ;
- ΔT_2 : Compris entre 1° K à 3° K

Les différentiels pourront être d'autant plus petits que le circuit primaire sera court et bien isolé. Voir l'organigramme suivant :

ORGANIGRAMME

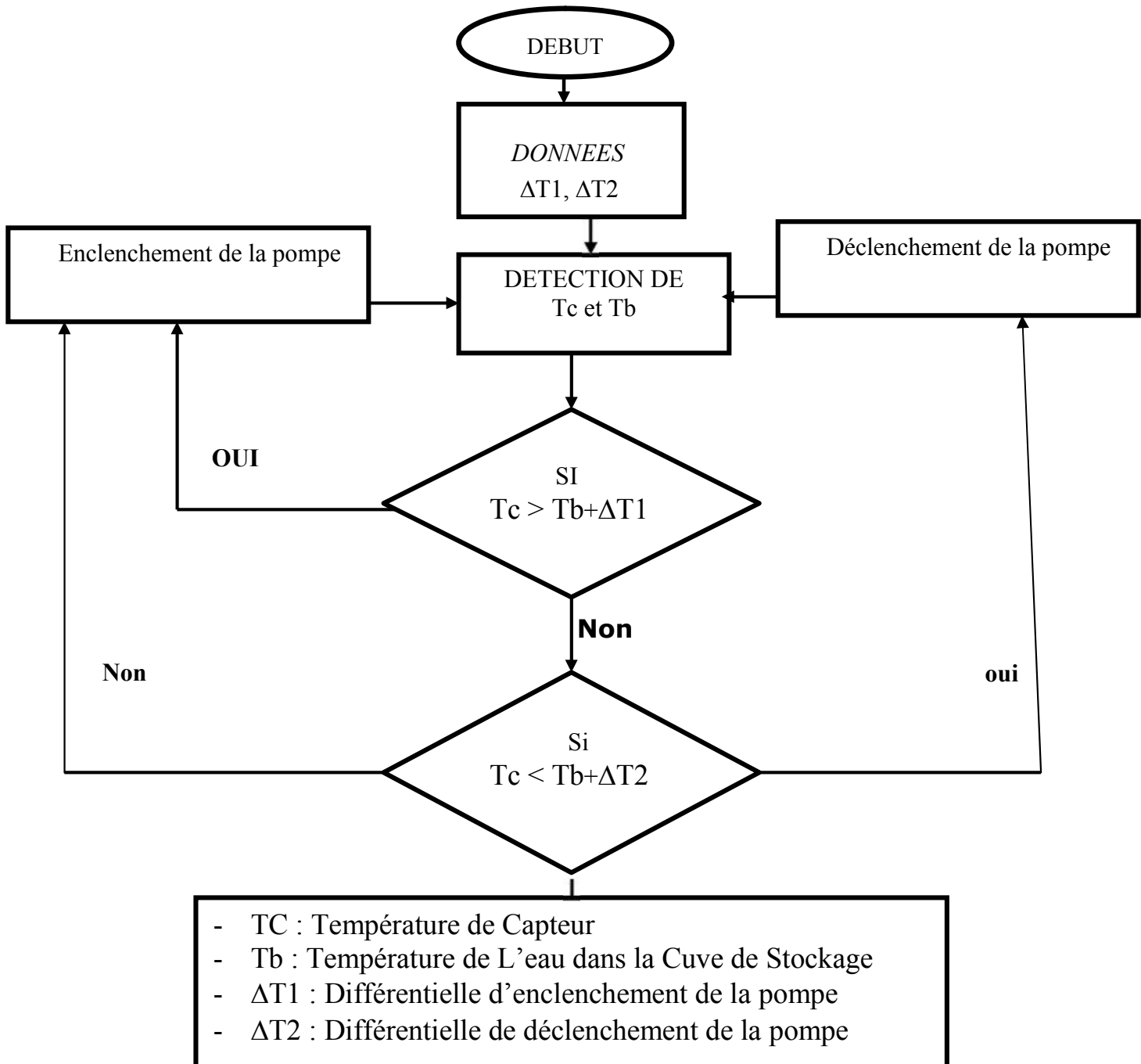


Figure 7: Organigramme régulateur d'appoint.

II.3.1.1 Régulation différentielle avec vanne de commutation

Quand la surface de captation ainsi que l'inertie de la boucle primaire sont importantes (longueur des tuyauteries supérieure à 50m) la régulation du circuit primaire est complétée par

Chapitre II: Régulation et protection des installations de production d'eau chaude solaires

l'action du régulateur sur une vanne de commutation.

Lorsque la température T_c à la sortie des capteurs devient supérieure à la valeur $T_b + \Delta T1$ de l'eau dans le ballon de stockage, le régulateur commande la mise en marche du circulateur P1.

La vanne V1 est ouverte en position de recyclage du fluide caloporteur sur les capteurs (stabilisation de la température du circuit primaire).

Si la température $T1$ devient supérieure à la température T_b de l'eau dans le ballon de stockage $T1 > T_b + \Delta T1$, le régulateur commande l'ouverture de la vanne V1 de commutation vers le stockage, et il y'a échange de chaleur dans le ballon.

Si $T1 < T_b + \Delta T2$, la vanne V1 de commutation ferme le circuit de stockage. Le fluide caloporteur est recyclé dans la boucle des capteurs.

Enfin si $T_c < T_b$, le régulateur commande l'arrêt du circulateur P1

La régulation est basée sur le principe du «tout ou rien» de la vanne V1 de commutation cela permet de réduire le risque de pompage du circulateur (mise en service et arrêt du circulateur intempestifs). De plus, les performances thermiques de l'installation s'en trouvent améliorées du fait d'une mise en température plus rapide de la boucle primaire, le matin.

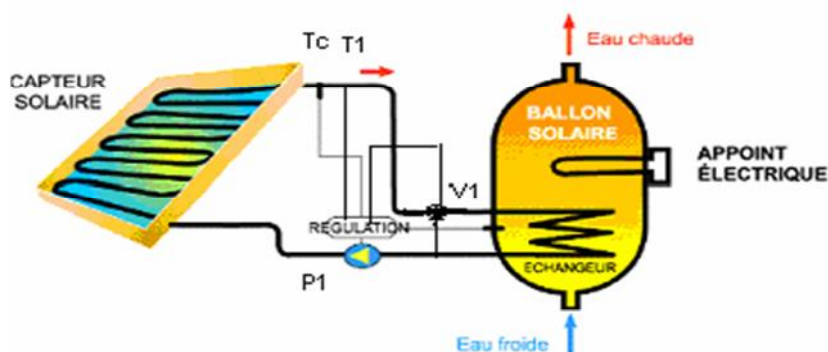


Figure II.8 : Schéma d'une régulation différentielle avec vanne[4]

Chapitre II: Régulation et protection des installations de production d'eau chaude solaires

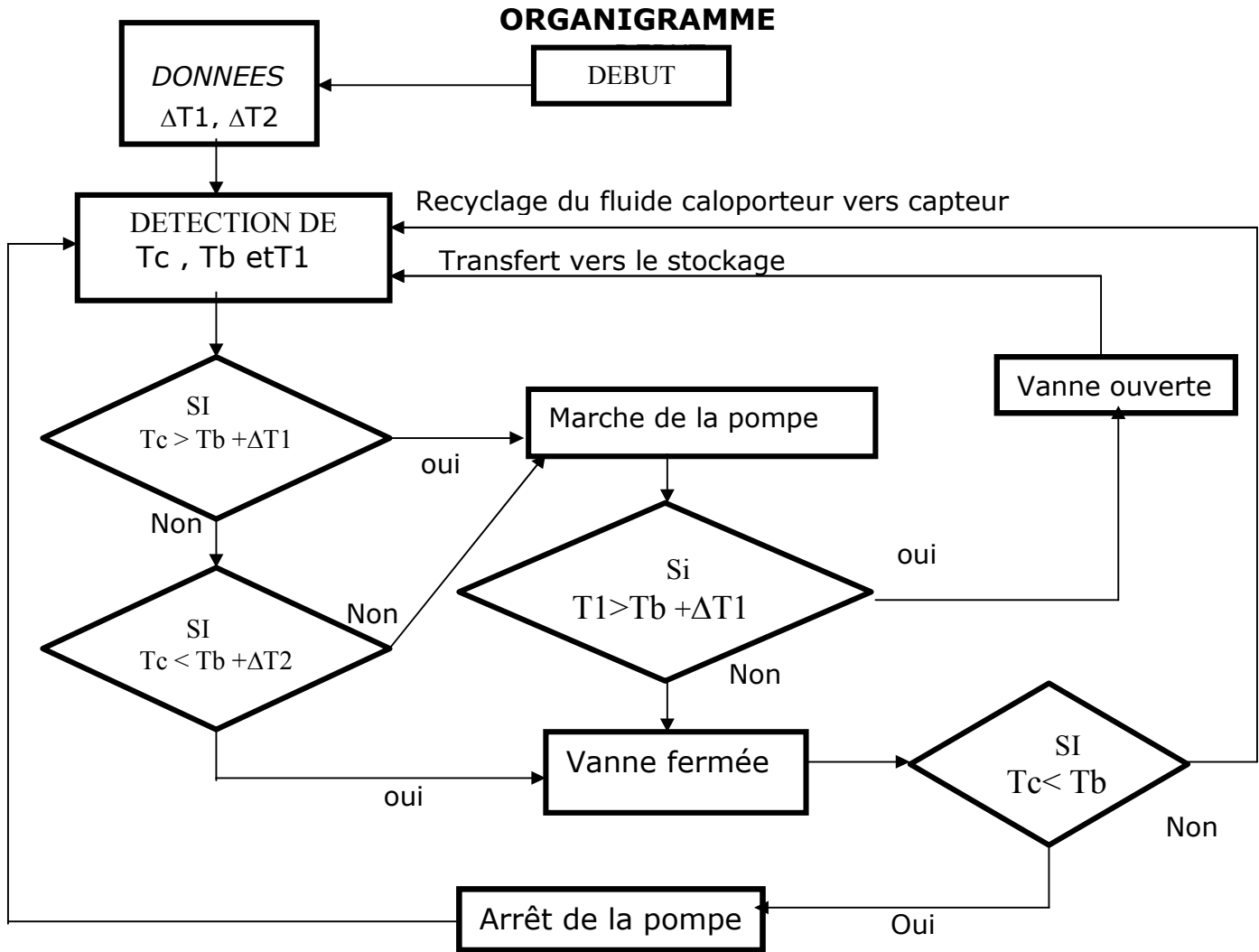


Figure II .9: Organigramme de fonctionnement de la régulation différentielle avec vanne de commutation [4].

II.3.1.2 Régulation différentielle avec échangeur extérieur

Lorsque l'installation est équipée d'un échangeur extérieur, la mise en circulation de l'eau sanitaire dans le circuit secondaire de l'échangeur nécessite la mise en œuvre d'un second circulateur.

En général, la régulation de l'installation est assurée par deux régulateurs différentiels R_1 et R_2 .

De manière à tenir compte de l'inertie du circuit primaire (la quantité de fluide qu'il contient peut être importante), on aura intérêt à temporiser le fonctionnement du circulateur R_1 de manière à éviter des arrêts et des mises en circulation intempestifs lors du démarrage de l'installation chaque jour.

- Si $T_c > T_b + \Delta T1$ le circulateur du circuit primaire P1 étant en service
- Si $T1 > T_b + \Delta T1$ le régulateur $R2$ commande la mise en service du circulateur p2 du circuit secondaire
- Si $T_c < T_b + \Delta T2$ arrêt du circulateur p1, si $T1 < T_b + \Delta T1$ donc l'arrêt du circulateur p2, recyclage du fluide caloporteur vers le capteur

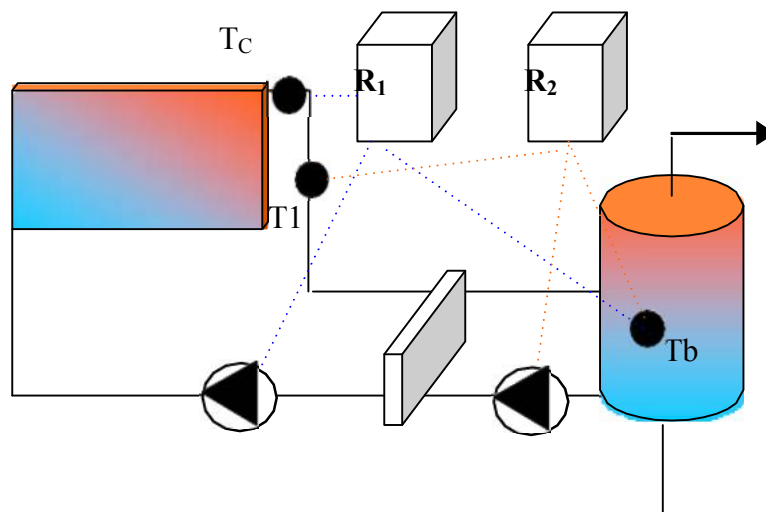


Figure II.10: Régulation différentielle: cas d'un Echangeur extérieur

Chapitre II: Régulation et protection des installations de production d'eau chaude solaires

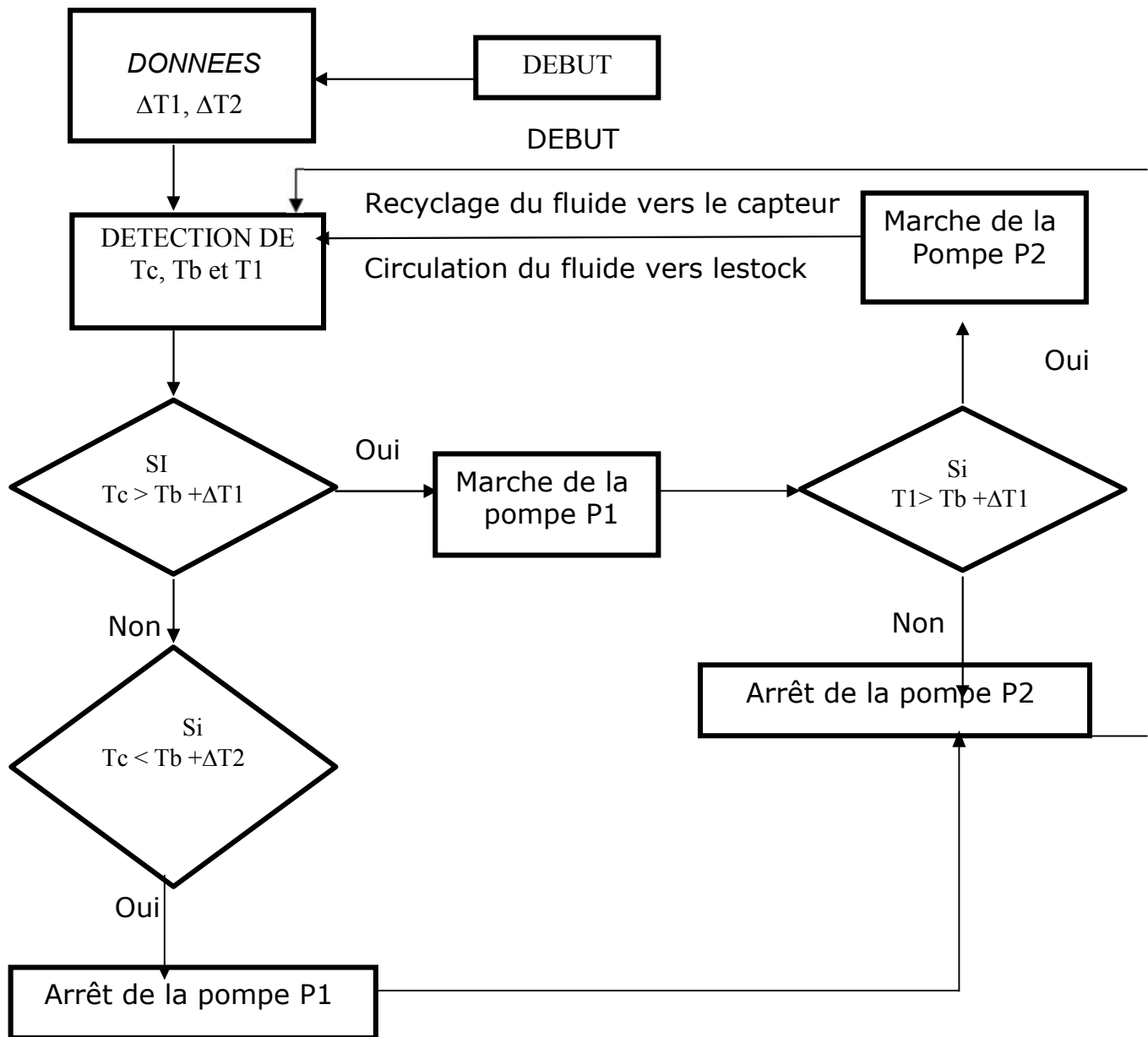


Figure II.11: Organigramme de fonctionnement de la régulation différentielle échangeur extérieur.

Conclusion:

Les systèmes de régulation sont nécessaires pour toutes les installations solaires, car ils augmentent le rendement de l'installation tout en profitant de l'énergie solaire qui est gratuite au maximum.



Chapitre III :
DIMENSIONNEMENT D'UNE
INSTALLATION D'UN CHAUFFE-
EAU SOLAIRE

Chapitre III : Dimensionnement d'une installation d'un chauffe-eau solaire

III .1 Introduction :

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

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

Un bon dimensionnement doit produire un maximum d'énergie solaire pour 50 à 80% des besoins d'eau chaude sanitaires, entraînant une économie financière.

III.2- Dimensionnement des composants principaux :

La connaissance des besoins en eau chaude sanitaire est une étape vitale pour bien dimensionner un chauffe-eau solaire. Il est recommandé de se baser sur les consommations réelles d'eau chaude.

Deux éléments doivent être évalués pour concevoir un chauffe-eau solaire qui répond à vos besoins, le volume du ballon de stockage de l'eau chaude et la surface du panneau solaire.

III.2.1-Dimensionnement du capteur thermique :

La surface des capteurs A_0 :

Est la variable essentielle car elle conditionne le coût et la production utile de l'habitation le dimensionnement du capteur est fait sur la base du volume d'eau chaude consommé quotidiennement V_j . on définit A_0 de façon à avoir un ratio V_j/A_0 à 75 litre/m². [20]

Dans le cas qu'on a étudié :

Pour une consommation de 300 litres /jour

$$\frac{V_j}{A_0} = 75 \rightarrow A_0 = \frac{V_j}{75} = \frac{300}{75} = 4 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow A_0 = 4 \text{ m}^2$$

Dans notre travail nous prenons $A_0 = 4 \text{ m}^2$,

Chapitre III : Dimensionnement d'une installation d'un chauffe-eau solaire

Choix de l'inclinaison : Il dépend essentiellement de deux paramètres :

- la latitude ;
- la saisonnalité des besoins.

L'orientation :

Généralement on oriente les capteurs en plein sud (Pour l'hémisphère nord).

III.2.2- Dimensions de la cuve de stockage

Pour pouvoir dimensionner la cuve il est important de déterminer les besoins journaliers en eau chaude. Cela nous permet de calculer le volume minimum du ballon d'eau chaude. Généralement, on considère qu'une personne consomme environ 70 litres d'eau chaude (à 55°) par jour. En fait, on peut estimer que les chiffres varient de 50 à 80 litres selon les utilisateurs. 50 litres par personne économe, 70 litres en moyenne, [21].

Le volume des ballons de stockage est déterminé en fonction de la consommation journalière :

$$V_{s0} = \max (V_{ja}, V_{jété}) [20]$$

Avec:

- **V_{ja}** : consommation moyenne journalière sur la période de fonctionnement.
- **V_{jété}** : consommation moyenne journalière sur la période mai-août.

On veillera à tenir compte, prioritairement de la consommation d'été, car le stockage à autres fonctions, de limiter les surplus temporaires de production qui sont plus probables en été.

La plage autorisée est définie de manière similaire à la plage autorisée pour le dimensionnement de la surface du capteur:

$$[V_{SMin}, V_{SMax}] = [V_{S0}-50\%, V_{S0}+50\%]. [20]$$

Chapitre III : Dimensionnement d'une installation d'un chauffe-eau solaire

III.2.3-Dimensionnement de l'absorbeur :

L'absorbeur sera dimensionné comme suite

1- la longueur de l'absorbeur :

1-1 le flux reçu par l'eau :

$$= \dot{m} C_p \Delta T$$

On a :

$$g = \frac{A}{G} \Rightarrow A = \frac{g}{G}$$

A_e : surface d'échange

$$\text{Donc on a : } A_e = \pi R l \Rightarrow l = \frac{A_e}{\pi R}$$

l : longueur de tube.

R : rayon de tube.

III.2.4-Dimensionnement de la tuyauterie :

Le raccordement des capteurs sera relativement simple du fait de la proximité entre ces derniers et la cuve, la tuyauterie sera donc courte, et par conséquent la perte de chaleur sera moins importante, à condition que les tuyaux soient correctement calorifugés.

Le coefficient de déperdition linéique de la tuyauterie se calcule de la manière suivante :

$$K_i = \frac{\pi}{\frac{1.15}{K_{iso}} \left(\ln 1 + 2 \cdot \frac{e_{iso}}{D_e} \right) + \frac{1}{h \cdot (D_e + 2e_{iso})}}$$

$$h = 10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{Si : } (D + 2 \cdot e_{iso}) > 220 \text{ mm}$$

$$\text{Sinon : } h = 5,5 + \left(\frac{3.1}{(D_e + 2e_{iso})^{0.25}} \right)$$

Chapitre III : Dimensionnement d'une installation d'un chauffe-eau solaire

Avec :

K_i : coefficient de déperdition linéique de la tuyauterie (W/m.K).

D_e : diamètre de la tuyauterie (m).

e_{iso} : épaisseur de l'isolant

k_{iso} : conductivité thermique de l'isolant (W/ m.°C)

III.2.5-Dimensionnement de l'échangeur :

La présence d'un échangeur entraîne une baisse du rendement global du système car elle provoque, toutes choses étant égales par ailleurs, une augmentation de la température de l'eau dans les capteurs, et donc une augmentation des pertes thermiques des capteurs.

On veillera à ce que cette baisse de rendement ne dépasse pas 5% soit un coefficient de transfert thermique de l'échangeur de 100 W/°C (par m² de capteur) minimum

III.2.6-Dimensionnement de l'appoint électrique :

Le dimensionnement de l'appoint sert à garantir une eau à la température voulue, en toutes circonstances

La puissance de la résistance électrique doit être comprise entre 10 et 15 W/litre du volume d'appoint (V_{ap}) chauffé par l'électricité, la valeur nominale étant de 12W/litre. Le volume V_{ap} est délimité par le haut du ballon et le bas de la résistance électrique. Si la résistance électrique est placée au centre du ballon, le volume V_{ap} correspondra à la moitié du volume nominal du ballon.[16]

III.3- Méthodes de calcul des performances thermiques des installations de production d'eau chaude solaire :

Pour le dimensionnement nous avons utilisé le logiciel SOLO qui utilise une méthode de calcul développée par le CSTB, France, la démarche adaptée est la suivante :

- a) On calcule les besoins journaliers en moyenne mensuelle,
 - Consommation journalière et température d'eau froide en moyenne, mensuelle
 - Température de consigne de l'eau chaude supposée constante sur toute l'année.,
- b) On calcule le rayonnement global journalier moyen mensuel sur le plan des capteurs,
 - Rayonnement global horizontal journalier en moyenne mensuelle,

Chapitre III : Dimensionnement d'une installation d'un chauffe-eau solaire

- Inclinaison et orientation des capteurs,
- c) On calcule le taux de couverture solaire en moyenne mensuelle par une équation utilisant les résultats de a) et b),
 - Chauffe solaire individuel à thermosiphon,
 - Capteur : surface totale S, paramètre B et K,
 - Stock : volume V constante de refroidissement CR.

III.3.1-Paramètres de calcul :

Les paramètres nécessaires d'introduire dans le calcul sont :

1. Les besoins en eau chaude,
2. Le climat,
3. Latitude,
4. Isolation (type et épaisseur),
5. Le capteur solaire,
6. Régulation,
7. Les ballons (solaire et appoint).

III.3.2-Conditions de bon dimensionnement :

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

III.3.3- Résultats du dimensionnement :

Alger, latitude : 36,72

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

Tableau III.1 : Données météo.

Chapitre III : Dimensionnement d'une installation d'un chauffe-eau solaire

<i>Capteurs</i>		<i>Stockage</i>	
Surface	4m ²	Situation	Exterieur
Inclinaison	36 /Horiz	Temperature ECS	55 C
Orientation	0 / Sud	Volume de stockage	300 Litres
Coefficient B	0,759	Cste de refroidissement	0,1807 Wh/jour.l. C
Coefficient K	4,2W/m ² . C	Type d'installation	Thermosiphon sans échangeur

Tableau III.2:Paramètres d'installation.

	Irradiation capteurs (Wh/m ² .jour)	Besoins (kWh/mois)	Apports (kWh/mois)	Apports (kWh/jour)	Taux (%)	Volume (litres)
Janvier	3024	194	90	2,9	46,1	132
Fevrier	4234	173	109	3,9	63,1	132
Mars	5173	190	145	4,7	76,6	132
Avril	5530	179	150	5,0	84,0	132
Mai	6097	178	161	5,2	90,5	132
Juin	5951	165	152	5,1	92,2	132
Juillet	6157	163	155	5,0	94,8	132
Aout	6236	161	153	5,0	95,3	132
Septembre	5680	160	146	4,9	91,0	132
Octobre	4462	175	132	4,3	75,6	132
Novembre	3147	179	95	3,2	53,0	132
Decembre	2758	192	83	2,7	43,2	132

Tableau III.3 : Résultats mensuelle.

Chapitre III : Dimensionnement d'une installation d'un chauffe-eau solaire

Taux couverture solaire	74,5	%	Apport solaire annuel	1572	kWh/an
Besoin annuel	2109	kWh/an	Productivite annuelle	393	kWh/m ² .an

Tableau III.4 : Résultats annuels.

III.4- Interprétation des résultats de dimensionnement :

On remarque que le taux de couverture figure (2.1), l'apport solaire figure(2.3), et l'irradiation captée figure(2.5) augmentent a la saison estival et diminuent a la saison hivernal contrairement aux besoins qui sont représenté par la figure (2.4).

Les résultats annuels sont la productivité, les besoins, apport solaire, et le taux de couverture

Le taux de couverture c'est le pourcentage des besoins assurés par l'installation solaire: rapport entre l'économie (production solaire) et les besoins.

La productivité solaire est la production annuelle d'énergie solaire, ramenée au mètre carré de capteurs (kWh/m².an).qui est estimé à 393KWh/m².an.

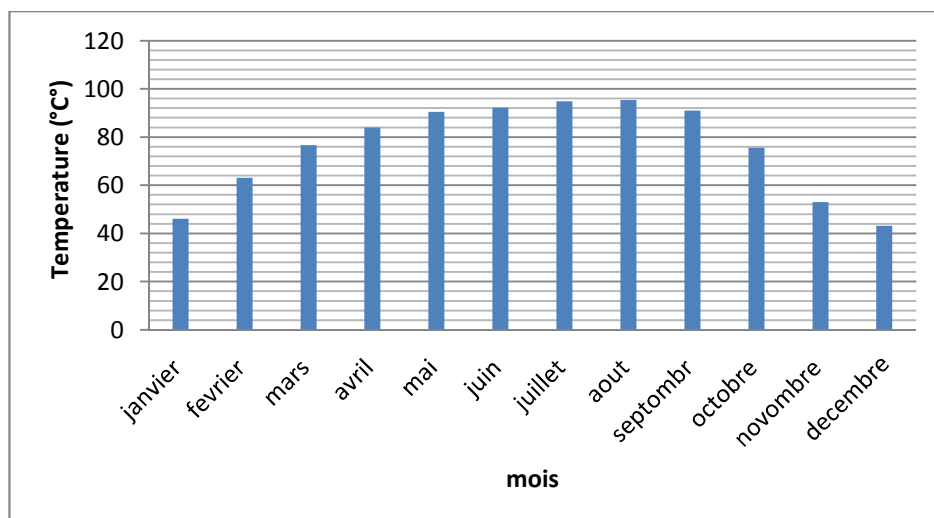


Figure III.1 : Taux de couverture solaire mensuel

Chapitre III : Dimensionnement d'une installation d'un chauffe-eau solaire

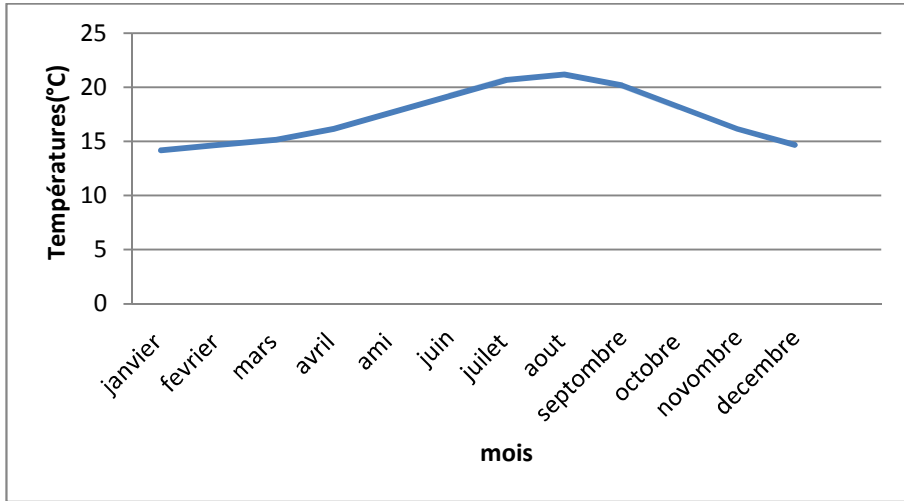


Figure III.2 : Températures de l'eau arrivée.

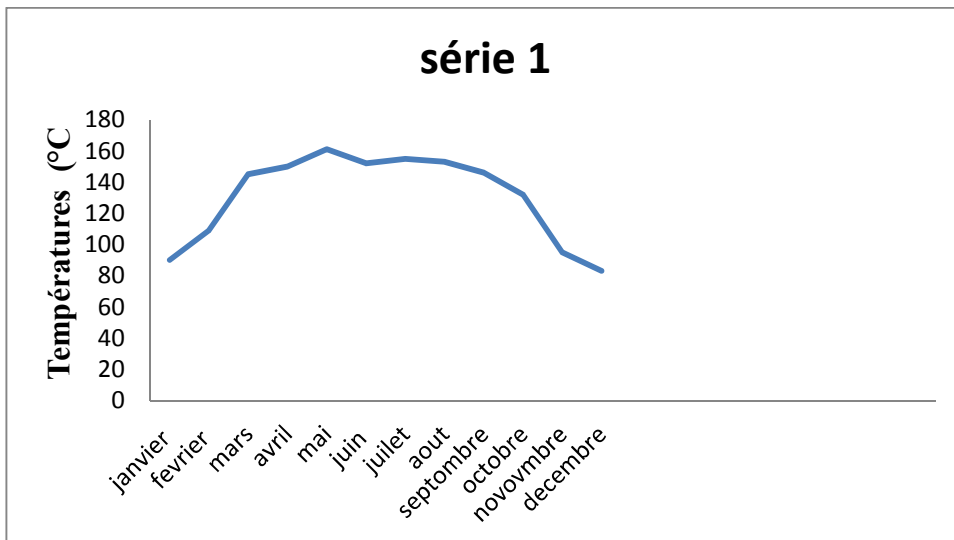


Figure III.3: Apport solaire mensuel.

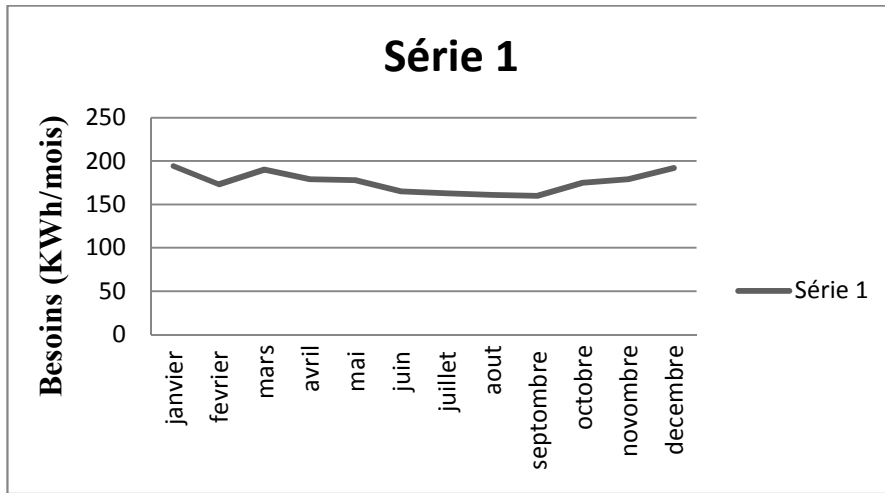


Figure III.4 : Besoin d'eau chaude solaire

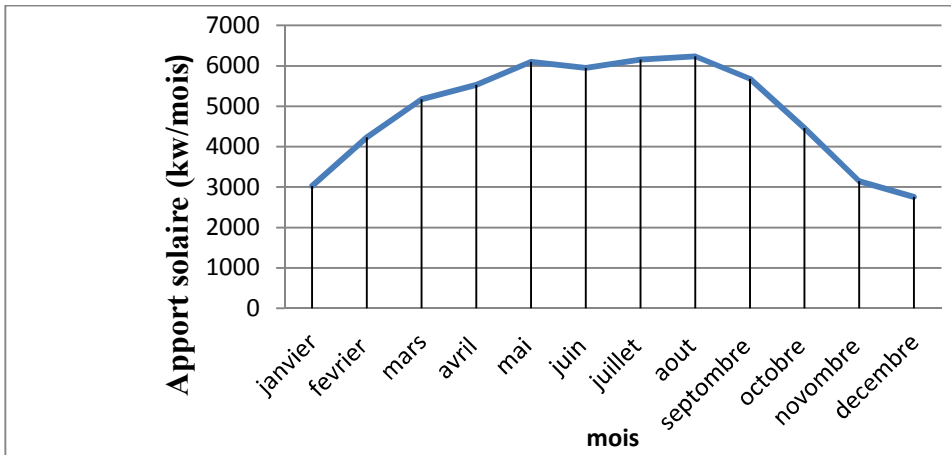


Figure III.5 : Irradiations sur les capteurs solaires.

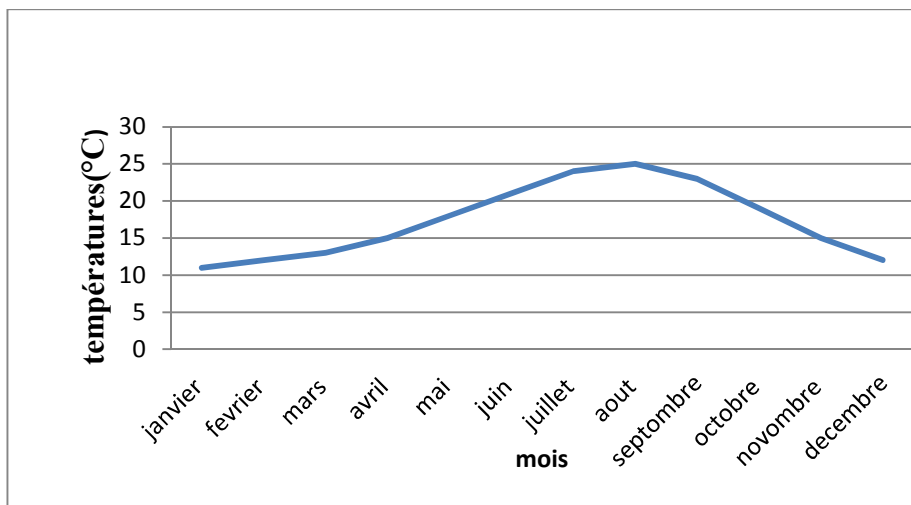


Figure III.6 : Différencier de températures extérieures.

Chapitre III : Dimensionnement d'une installation d'un chauffe-eau solaire

Conclusion :

Les résultats de dimensionnement sont satisfaisants, on a choisi les paramètres qu'il faut pour un bon dimensionnement, se qui va être confirmé par les résultats expérimentaux à l'étape suivante.

A decorative border resembling a scroll, with rounded corners and a vertical strip on the left side that looks like the edge of a rolled-up document. The scroll is outlined in black and has a light gray shadow on the top and right edges.

Chapitre IV

ETUDE EXPERIMENTAL D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE

IV.1- Introduction:

Notre expérience sur le chauffe-eau solaire individuel s'est déroulée au centre de développement des énergies renouvelables des (CDER) située à BOUZAREAH (Alger).

Paramètres caractérisant le site de BOUZAREAH (nord):[10]

Latitude = 36.72°N

Longitude = +3.12° E

Altitude = 345m

Albédo du sol = 0.2

IV.2-Description du banc d'essai : (BOUZAREAH) :

L'installation comporte deux capteurs plans à circulation naturelle (thermosiphon) de 4m² de surface et de 300L du volume de stockage qui peut satisfaire les besoins en eau chaude d'une famille de 4 personnes.

L'inclinaison des capteurs est de 36° selon la latitude du lieu pour une consommation annuelle.

L'orientation : plein sud

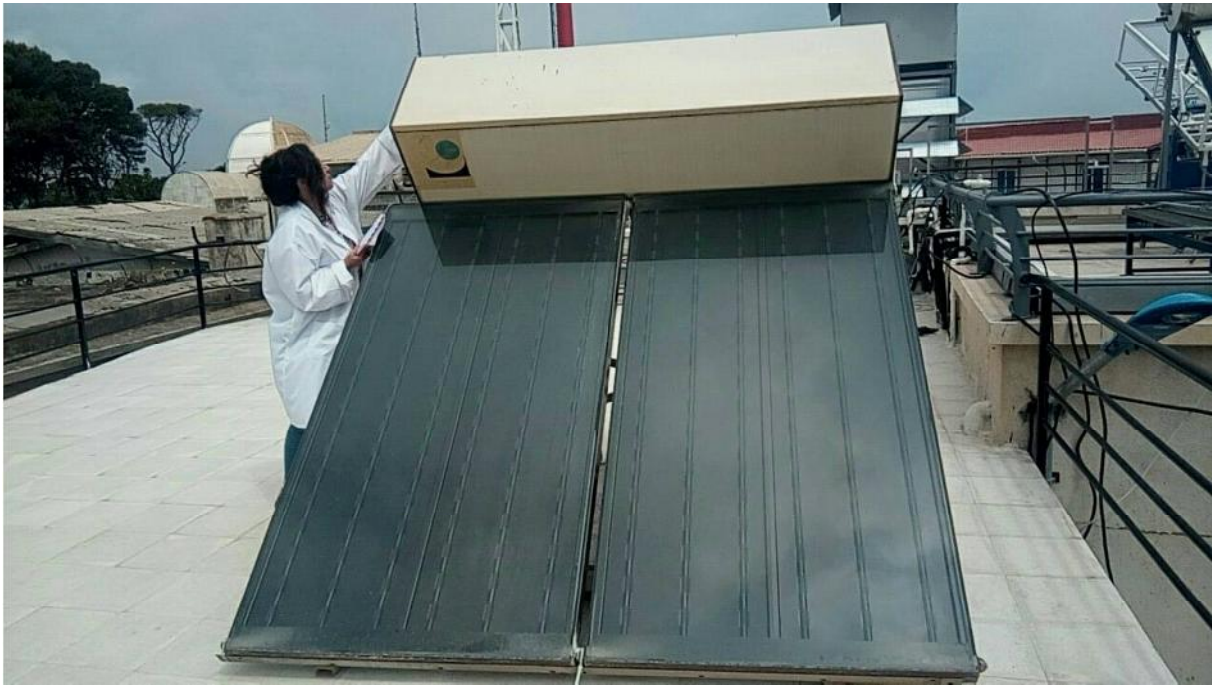


Figure IV.1: Banc d'essai du CSEI à Bouzareah

IV.3-Emplacement :

Pour le choix de l'emplacement du capteur, il est important de : [12]

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

IV.4-Orientation et inclinaison :

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

- **Orientation** : les capteurs sont orientés plein sud, car c'est dans cette position que l'énergie recueillie durant toute la journée est maximale.

- **Inclinaison:** La position verticale des capteurs favorise la période hivernale, alors que la position horizontale conduit à de meilleurs rendements l'été. La solution idéale serait d'incliner différemment le capteur suivant la période de l'année.

IV.5-Déroulement de l'expérimentation :

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

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

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

IV.6-Paramètres à mesurer :

Les différents paramètres à mesurer sont :

- Les températures aux différents niveaux de la cuve de stockage et du capteur ;
- La température ambiante ;
- L'éclairement global incliné sur les surfaces des capteurs

L'emplacement des thermocouples pour différentes mesures :

Les figures suivantes montrent l'emplacement des sondes de températures pour différents points de l'installation.



Figure IV.2: Emplacement de la sonde à l'entrée de la cuve.



Figure IV.3: Emplacement de la sonde a l'entrée du capteur.



Figure IV.4: L'emplacement de la sonde a la sortie du capteur.



Figure IV.5: L'emplacement de la sonde a la sortie de la cuve.



Figure IV.6: Mesure de la température ambiante

IV.7 Thermocouple :

IV.7.1- Principe d'un thermocouple :

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

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



FigureIV.7: Thermocouple.

IV.7.2-Choix des thermocouples

Critères de choix d'un thermocouple :

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

IV.7.3 -Normalisation des thermocouples :

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

IV.8-Mesure de l'éclairement global incliné :

La mesure de l'éclairement globale a été effectuée par un pyranomètre de type KYPP et ZONNEN (CMS) ayant un précision de 1%.

- Le pyranomètre:

Instrument destiné pour mesurer le rayonnement global G_T parvenant sur une surface plane à partir d'un angle solide 2π stéradians.

Si cet appareil est muni d'un pare-soleil il peut mesurer le rayonnement diffus D l'un des appareils les plus réponsus dans le monde est le pyranomètre KIPP.



Figure IV.8: Pyranometre.

IV.9- Enregistrement des données :**IV.9.1-Enregistreur OM-300 SERIES :**

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



Figure IV.9 : l'enregistreur.

IV.9. Conclusion:

L'étude expérimentale nous a permis de se familiariser avec les installations de production d'eau chaude solaires en testant les différents composants de l'installation permettent ainsi de prévoir une meilleure conception pour le futur. Les résultats expérimentaux sont représentés dans le chapitre suivant.

A decorative graphic of a scroll with a black outline and rounded corners. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges curving upwards. The text is centered within the scroll.

Chapitre V
RESULTATS ET
INTERPRETATIONS

V.1 Introduction :

Les résultats expérimentaux présentés à l'installation de BOUZAREAH (CDER) sont représentés sous forme de courbes.

Pour mesurer nous avons choisi la journée du 08/05/2018 représentative éclairée pour ne pas perturber le système avec un pas de temps de 30 minutes de 9h00 à 16h00.

V.2 Interprétation :

La figure V.1 :représente l'évolution de l'éclairage globale durant la journée du 08/05//2018 de 9h00 à 16h00, on voit bien que la journée est à ciel clair et la courbe a l'allure d'une cloche qui atteint son maximum à 12h30 heure local.

La figure V.2 : représente l'évolution de la température ambiante de 09h00 à 16h00. on remarque qu'elle varie entre 26°C à 28°C de 09h00 à 12h00 et puis elle commence à avoir une pente négative légèrement et qui varie entre 27°C et 25°C

La figure V.3 : représente l'évolution de la température de l'eau entrée et sortie du capteur respectivement pour la journée du 08 /05/2018 de 9h à 16h avec un pas de temps de 30min. Les courbes ont la même allure avec des températures différentes.

Afin de voir l'écart de températures entrée /sortie du capteur, nous avons représenté les deux courbes sur le même graphe figure : V.5 on constate que l'écart est de 10°C de 11h00 à 15h30, ce paramètre est très important pour déterminer les performances de l'installation.

La figure V.6 et V.7 représentent l'évolution de la température de l'eau entrée et sortie de la cuve respectivement pour la journée du 08 /05/2018 de 09h00 à 15h00 avec un pas de temps de 30min. Les courbes ont une allure similaire avec des températures différentes. Mais après cette heure l'allure des deux courbes change, pour la courbe de température de sortie de cuve continue à augmenter bien que l'éclairage diminue et tend à se stabiliser et ça est dû au gain de l'énergie qui est important, par contre la courbe de la température de l'eau à l'entrée de la cuve, l'évolution est une pente négative ceci est dû aux pertes thermiques vers l'extérieure et tend à se stabiliser.

Afin de voir l'écart entre les deux températures entrée/sortie cuve, nous avons représenté les courbes sur le même graphe figure V.8, on remarque que l'écart est de 10°C à

20° C de 09h à 15h, et après ça on remarque que l'écart continu à augmenter jusqu'à une stabilisation. On peut expliquer ce cas que la cuve est bien isolé d'où la performance du système.

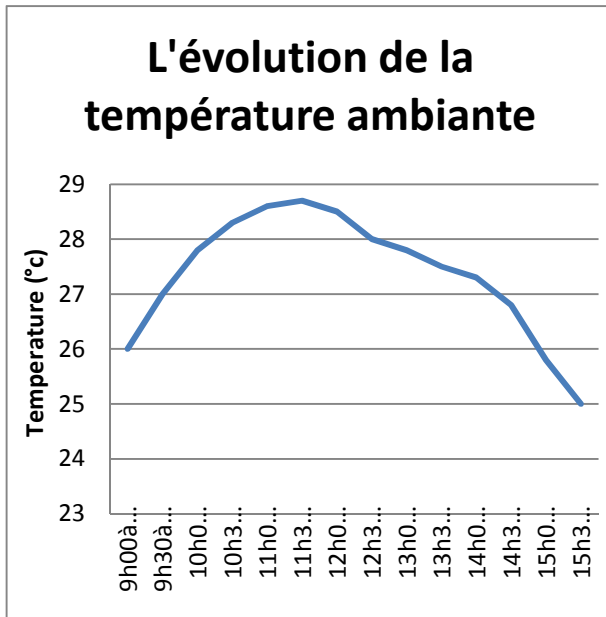


Figure V.1 : L'évolution de la température ambiante

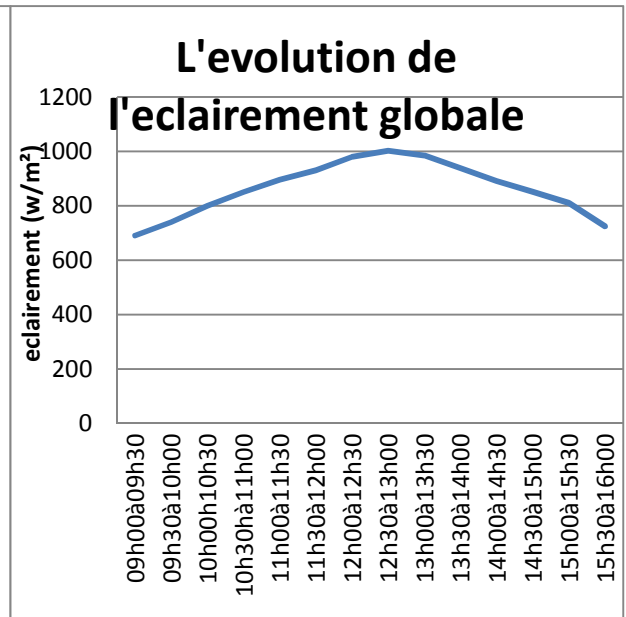


Figure V.2: L'évolution de la l'éclairage globale

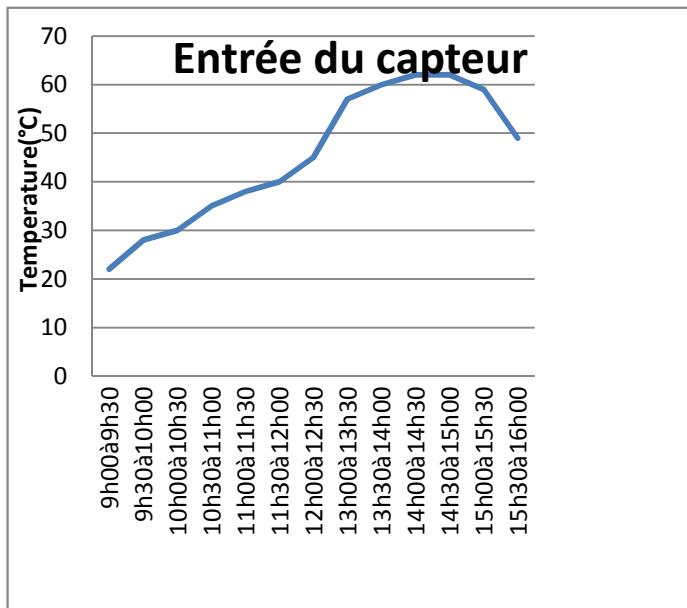
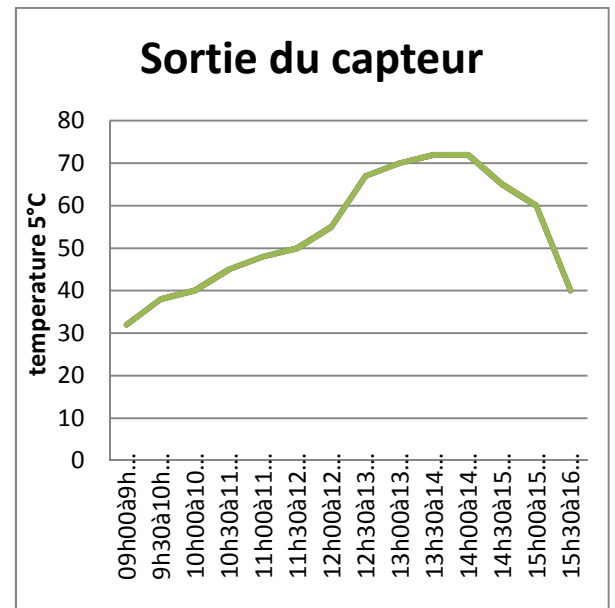


Figure V.3 : Mesure de température à l'entrée du capteur.



FigureV.4 : Mesure de température à la sortie du capteur.

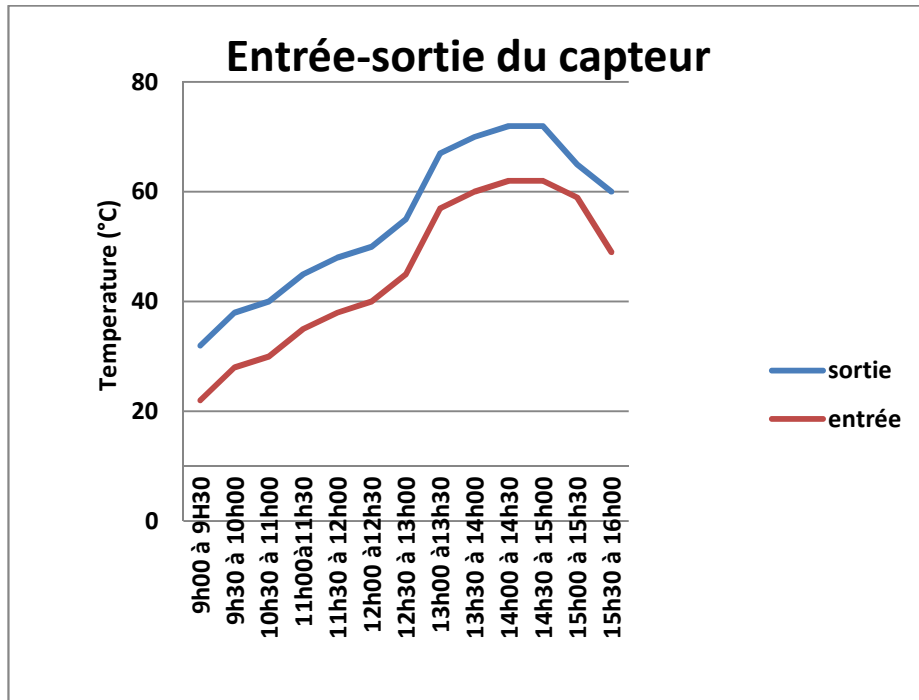


Figure V.5 : La température à l'entrée et sortie du capteur.

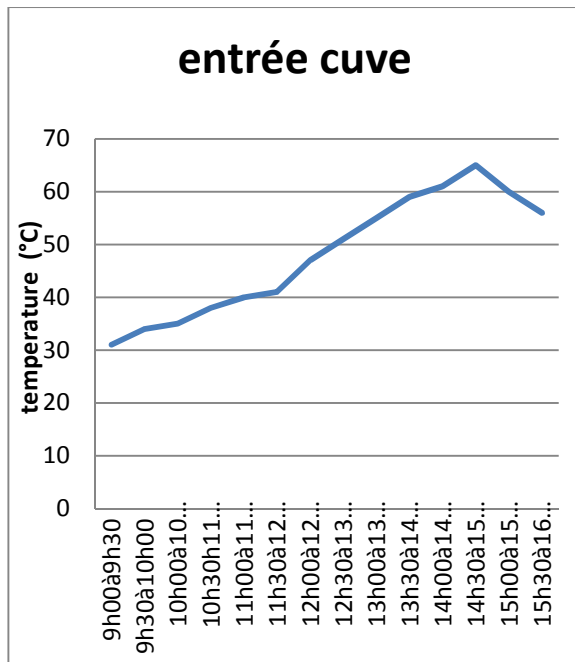


Figure V.6 : mesure de température à l'entrée de la cuve.

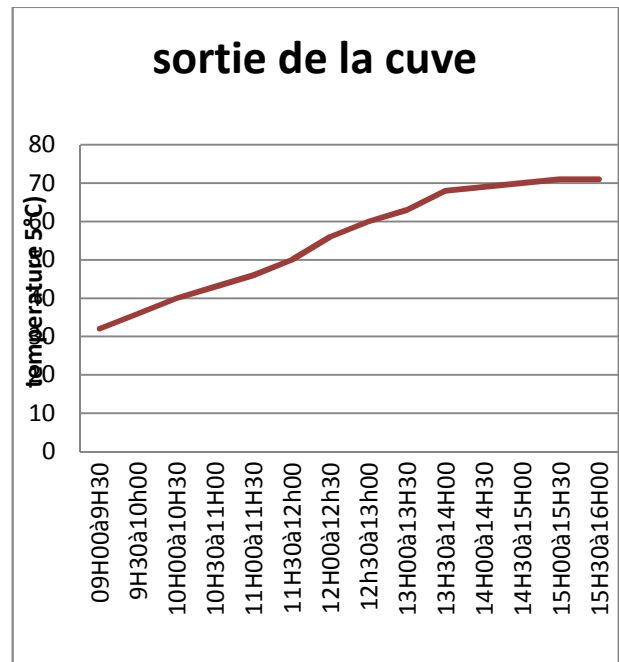


Figure V.7 : mesure de température à la sortie de la cuve.

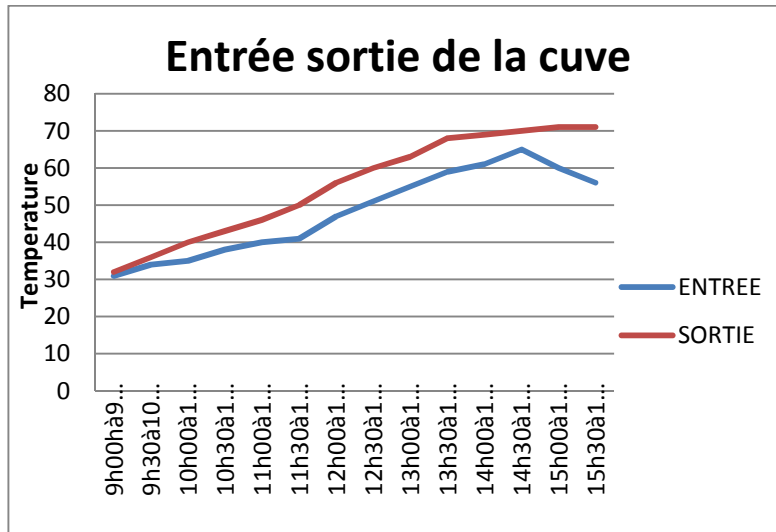


Figure V.8 : La température à l'entrée et sortie de la cuve

	Série 1
9h00à9h30	22
9h30à10h00	28
10h00à10h30	30
10h30à11h00	35
11h00à11h30	38
11h30à12h00	40
12h00à12h30	45
13h00à13h30	57
13h30à14h00	60
14h00à14h30	62
14h30à15h00	62
15h00à15h30	59
15h30à16h00	49

Figure V.1 : Mesure de température entrée du capteur

	Série 1
09h00à9h30	32
9h30à10h00	38
10h00à10h30	40
10h30à11h00	45
11h00à11h30	48
11h30à12h00	50
12h00à12h30	55
12h30à13h00	67
13h00à13h30	70
13h30à14h00	72
14h00à14h30	72
14h30à15h00	65
15h00à15h30	60
15h30à16h00	40

Figure V.2: mesure de température sortie du capteur

	sortie	entrée
9h00 à 9H30	32	22
9h30 à 10h00	38	28
10h30 à 11h00	40	30
11h00à11h30	45	35
11h30 à 12h00	48	38
12h00 à12h30	50	40
12h30 à 13h00	55	45
13h00 à13h30	67	57
13h30 à 14h00	70	60
14h00 à 14h30	72	62
14h30 à 15h00	72	62
15h00 à 15h30	65	59
15h30 à 16h00	60	49

Figure V.3 : Mesure de température à l'entrée et sortie du capteur

	Série 1
9h00à9h30	31
9h30à10h00	34
10h00à10h30	35
10h30h11h00	38
11h00à11h30	40
11h30à12h00	41
12h00à12h30	47
12h30à13h00	51
13h00à13h30	55
13h30à14h00	59
14h00à14h30	61
14h30à15h00	65
15h00à15h30	60
15h30à16h00	56

Figure V.5 : La température à l'entrée de la cuve

	Série 1
09H00à9H30	32
9H30à10h00	36
10H00à10H30	40
10H30à11H00	43
11H00à11H30	46
11H30à12h00	50
12H00à12h30	56
12h30à13h00	60
13H00à13H30	63
13H30à14H00	68
14H00à14H30	69
14H30à15H00	70
15H00à15H30	71
15H30à16H00	71

Figure V.6 : mesure de température à la sortie de la cuve

	ENTREE	SORTIE
9h00hà9h30	31	32
9h30à10h00	34	36
10h00à10h30	35	40
10h30à11h00	38	43
11h00à11h30	40	46
11h30à12h00	41	50
12h00à12h30	47	56
12h30à13h00	51	60
13h00à13h30	55	63
13h30à14h00	59	68
14h00à14h30	61	69
14h30à15h00	65	70
15h00à15h30	60	71
15h30à16h00	56	71

Figure V.7 : mesure de température à l'entrée et sortie de la cuve.

Conclusion :

D'après les résultats expérimentaux il apparaît clairement que le rendement est une fonction proportionnelle de l'irradiation solaire globale qui joue un rôle prépondérant.

On a constaté aussi que l'écart d'évolution des températures d'entrée et sortie du capteur mesuré est de 10% correspondant à une concordance satisfaisante aux résultats théoriques.

Cependant un bon dimensionnement du chauffe-eau solaire, en optimisant des paramètres en pertinences avec les besoins d'eau chaude, nous permettent de réduire les pertes et d'avoir un rendement idéal, afin d'atteindre la performance de l'installation et ainsi satisfaire les besoins en eau chaude pour une maison individuelle.



CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'utilisation de l'énergie solaire est un des axes prioritaires de la recherche en ALGERIE qui dispose d'un gisement solaire important, dans ce cadre notre étude sur l'installation de chauffe-eau solaire est faite.

Au début de notre travail un calcul prévisionnel de dimensionnement a été fait en intégrant tous les paramètres caractérisant notre chauffe eau solaire Giordano. Et ce calcul nous donne le taux de productivité ainsi que la couverture annuel se qui confirme la performance de notre chauffe eau, puis on passe à l'évaluation pratique qui consiste à prendre des mesures de températures du capteur et de la cuve et la température ambiante et l'éclairément.

Les résultats expérimentaux sont très satisfaisants on a bien vu que l'écart des températures entre l'entrée et sortie du capteur et de la cuve sont de l'ordre de 10%, ce qui affirme pratiquement la performance de l'installation et atteste les résultats théoriques (dimensionnement).

Le travail que nous venons de présenter, nous a permis d'approfondir et d'enrichir nos acquis sur les systèmes solaires, et précisément les chauffe-eau solaires, qui se résume à convertir les rayons électromagnétique du soleil, en une énergie calorifique qui serait transmise à un fluide caloporteur(eau) et ce pour des besoins domestiques.

Les chauffés eaux ont marqué un niveau d'usage et de bonne performance bien élevé dans plusieurs pays dans le monde ,mais son développement en Algérie est négligé vu le faible coût des énergies non renouvelable bien que le climat est très favorable, elle dispose d'un gisement important dans tous le territoire, ils permettent d'éviter le rejet de gaz à effet de serre et protéger notre environnement, faire des économies énormes et donc préserver nos ressources naturelles pour un développement durable.

Notre travail contribue au développement du domaine de production d'eau chaude solaire dans notre pays. Notre souhait est que l'état encourage ce genre d'application à travers des subventions et des crédits. Une telle contribution mènera inévitablement à la création d'un marché des chauffés eaux solaires et pourquoi pas une concurrence avec ceux des pays qui sont en avance dans le domaine.

Des perspectives peuvent être envisagées comme des travaux de recherche sur des installations de production d'eaux chaudes solaires collectives et nous désirons intégrer ce domaine dans la wilaya de Tizi Ouzou qui présente un climat très favorable

Enfin nous espérons que ce travail qui a demandé beaucoup d'efforts sera d'une utilité et efficacité aux consommateurs ainsi que les futures promotions.

- [1] ANDRE JOFFRE, cours d'Alsace, Tecsol, FORMATION Strasbourg Janvier 2004, www.tecsol.fr.
- [2] Dimensionnement des équipements solaire, logiciel SOLO, CSTB France, www.Tecsol.fr.
- [3] Eau chaude solaire conception dimensionnement et réalisation des installations collective
A.F.M.E.
- [4] F. BOUHIRED, A. CHOUDER, "expérimentation du système de régulation et control destiné pour l'appoint d'un chauffe eau solaire", publication, revue des énergies renouvelables, 1999
- [5] F. BOUHIRED Développements des chauffe eau solaire en Algérie 05/07/2010
- [6] J. A. DUFFIE, W. A. BECKMAN. Solar engineering of thermal processes, John. Wiley and Sons. (1980).
- [7] J. BERNARD. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004)
- [8] J.F. SACADURA, Initiation aux transferts thermiques, CAST, INSA de Lyon, Editions technique et documentation
- [9] J. M CHASSÉRIAU, Conversion thermique du rayonnement solaire; Dunod, 1984.
- [10] <http://f5zv.pagesperso-orange.fr/SOLAIRE/SM5/SM5c.html>
- [11] http://lycee.nicolas-cohen.org/fichiers/fichiers_pdf/effet_de_serre.pdf
- [12] Manuel du chauffe eau solaire collectif, TECSOL, formation tunis 2002, www.tecsol.fr
- [13] MEMENTO DE L'INSTALLATEUR. La régulation de chauffage, Pyc Edition, 1979
- [14] M. KHOUKHI, "Etude théorique et expérimentale du chauffe eau solaire de production nationale " secrétariat d'état à la recherche scientifique, décembre 1992
- [15] M. CAPDERO, "Atlas solaire de l'Algérie T1 , modèles théoriques et expérimentaux
- [16] P. RIVET. Le Rayonnement solaire ; CNRS.

- [17] S.SAMI-MECHRI, A.HAMID, D.LAFRI, et D.SEMMAR, “ l’appoint pour les installations solaire de chauffage d’eau sanitaire “, 2^{ème} symposium du comité Algérien de l’énergie, économie d’énergie et environnement, Alger, 15-16 novembre ,2000 .
- [18] R. BERNARD, G. MENGUY, M. SCHWARTZ. Le rayonnement solaire conversion thermique et applications ; Technique et documentation, Paris, 1983.
- [19] THIERY CABIROL, DANIEL ROUX. Chauffage de l’habitat et énergie solaire, Edisud. Cop, 1982, 1984, 2 VOL.
- [20] THIERRY CABIROL, ALBERT PELISSOU, DANIEL ROUX. Le chauffe- eau solaire, Edisud. Cop, 1980.
- [21] Y. JANNOT. Thermique solaire, Mars 2011.
- [22] www.solairethermique.fr mai 2018
- [23] <http://www.orion-sanary.fr/wp-content/uploads/2018/02/2018-01-23-Soleil.pdf> avril 2018
- [24] https://www.ffmpeg.org/web/images/attach/base_doc/1440/fiche-technique-chauffe-eau-solaire-collectif.pdf mars 2018
- [25] www.solaire-diffusion-eau-solaire/dimensionner-son-chauffe-solaire.html.
- [26] <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/climatologie-albedo-1023/>

Annexe :

Les propriétés thermophysiques des matériaux pouvant constituer la plaque absorbante d'un capteur solaire plan sont récapitulées dans le tableau 1.

Matériau	Conductivité thermique (W/m.K)	Masse volumique (Kg/m ³)	Chaleur massique (J/kg.K)	Absorptivité	Emissivité
Cuivre	384	8900	398	0.25	0.02
Aluminium	204	2700	879	0.63	0.09
Acier inoxydable	14	7800	460	0.01	0.04

Tableau 1 : Propriétés thermophysiques des matériaux métalliques

Les différentes surfaces sélectives ainsi que leurs propriétés optiques sont regroupés dans le tableau 2.

Support et traitement	Absorptivité de la surface	Emissivité de la surface	Effet de l'humidité
Acier et nickel noir sur nickel	0.95	0.07	Variable
Acier et chrome noir sur nickel	0.95	0.09	Sans effet
Acier et chrome noir	0.91	0.07	Oxydation rapide
Cuivre et chrome noir	0.95	0.14	Peu d'effet
Acier galvanisé et chrome noir	0.95	0.16	Couche sélective pèle rapidement
Cuivre et cuivre noir	0.88	0.15	/
Acier et oxyde de fer	0.85	0.08	Peu d'effet
Aluminium et oxyde de manganèse	0.70	0.08	/
Acier et couche organique sur oxyde de fer	0.90	0.16	Peu d'effet
Acier et couche organique sur chrome noir	0.94	0.2	Peu d'effet

Tableau 2 : Propriétés optiques de quelques surfaces sélectives.

Le tableau 3 illustre quelques surfaces transparentes ainsi que leurs propriétés optiques et thermiques.

Matériau	Epaisseur (mm)	Transmissivité (%)	Masse volumique (kg/m ³)	Chaleur massique (J/kg.K)	Conductivité thermique (W/m.K)
Verre à vitre	3	85-92	2700	840	0.93
Polycarbonate	3.2	82-89	1200	1260	0.2
Polyméthacrylate	3.2	89-92	1200	1460	0.2
Polyster armé	1	77-90	1400	1050	0.21
Polyfluoroéthyle propylène	0.05	97	2.51	1170	0.25
Polyfluorure vinyle	0.1	93	1.5	1380	0.12

Tableau 3 : Propriétés optique et thermique des différentes surfaces

transparentes Tableau 4 : sont regroupés quelques matériaux selon leurs degrés d'émissivité.

Matériaux	Température (°C)	Emissivité
Aluminium nu après laminage	170	0.04
Aluminium anodisé noir	50	0.98
Béton	20	0.93
Glace lisse	0	0.97
Fer poncé	20	0.24
Verre	90	0.94
Cuivre légèrement ternis	20	0.04
Cuivre Oxydé	130	0.76
Acier trempé	200	0.52
Acier oxydé	200	0.79

Tableau 4 : Emissivité de quelques matériaux

Les différents matériaux pouvant servir d'isolant ainsi que leurs propriétés thermiques [3] sont récapitulés dans le tableau 5.

Matériaux	Conductivité thermique (W/m.K)	Masse volumique (kg/m ³)	Chaleur massique (J/kg.K)	Diffusivité thermique 10 ⁻⁷ m ² /s
Air à 20°C	0.025	1.2	1003	208
Mousse de polyurethane	0.029	30	1600	6
Laine de verre	0.036	40	840	10.7
Polystyrène expansé	0.04	20	1500	13.3
Laine de roche	0.04	40	840	11.9
Laine (vêtement)	0.04	450	1880	0.47
Feutre d'amiante	0.047	116	800	5.1
Liège expansé	0.048	120	1380	2.9
Perlite	0.048	60	840	9.5
Silicate de calcium	0.052	200	920	2.8
Magnésie	0.055	200	880	3.1
Béton cellulaire	0.075	280	800	3.3
Vermiculite	0.09	80	880	12.8
Papier journal comprimé	0.105	130	1340	6
Bois de pin	0.118	500	1210	1.95
Papier	0.14	700	1340	1.5
Bois de sapin	0.144	535	272	9.9
Caoutchouc	0.153	1200	2170	0.6
Pvc	0.166	1380	1000	1.2
Bois de chêne	0.198	825	2400	1.0
Plâtre	0.35	800	800	5.5
Brique	0.697	1700	900	4.6

Tableau 5 : Propriétés thermiques des matériaux qui servent d'isolant

Instrument de mesure de rayonnement :

Les premières mesures solarimétriques ont été entreprises par POUILLET en 1837, entre 1893 et 1939 des progrès considérables sont dus aux travaux de K. ANGSTRÖM et d'ABBOT. [3]

a- Radiomètre:

Appareil destiné à la mesure du rayonnement, le radiomètre de Crookes est un appareil permettant de mettre en évidence l'énergie transportée par les radiations, il est constitué d'une ampoule de verre contenant de l'air à faible pression et un petit moulin à quatre pales ayant chacune une face noire et une face blanche. Voir fig (I.8)

b- Le pyranomètre:

Instrument destiné pour mesurer le rayonnement global G_T parvenant sur une surface plane à partir d'un angle solide 2π stéradians.

Si cet appareil est muni d'un pare-soleil il peut mesurer le rayonnement diffus D

Voir Figure I.8 l'un des appareils les plus répandus dans le monde est le pyranomètre KIPP.

c- Le pyréliomètre:

Appareil mesurant le rayonnement solaire direct E , il est orientable de façon à ce que sa surface réceptrice soit normale aux rayons solaires

Il se présente sous trois types selon sa constitution:

- Le pyréliomètre à disque d'argent d'Abbott.
- Le pyréliomètre à circulation d'eau d'Abbott.
- Le pyréliomètre d'angström (1893).



**Héliographe D'après Campb II.
Stock**




Pyranomètre



Radiomètre



Pyrhéliomètre



NEWPORT
Autorisierter
Distributor **OMEGA**

Daimlerstraße 26
75392 Deckenpfronn
Tel. 070 56/93 98-0 • Fax 070 56/93 98-29
www.omega.de

Modell Nr.: **INFCP-111B**

Serien-Nr.	0505012-30		
Hilfsspannung U _H	230 VAC		
Leistung max. Watt	9.5		
Erregerspg.	VDC		mA
Meßsignal	Lo		Hi
Anzeige	Lo		Hi
Analogausgang	Lo		Hi

EXCITATION VOLTAGE								
	S1 DIP SWITCH POSITIONS							
FUNCTION	1	2	3	4	5	6	7	8
12 Vdc	C	-	-	-	-	O	O	-
10 Vdc	C	-	-	-	-	C	O	-
5 Vdc	C	-	-	-	-	C	C	-
EXTERNAL	O	-	-	-	-	O	O	-

SETTING FOR INPUT RANGES								
	S1 DIP SWITCH POSITIONS							
FUNCTION	1	2	3	4	5	6	7	8
0-100mVdc	-	O	C	O	O	-	-	O
±50mVdc	-	O	C	O	C	-	-	O
±5Vdc	-	C	O	O	C	-	-	C
0-10Vdc	-	C	O	O	O	-	-	C
0-20mAdc	-	O	C	C	O	-	-	O

C=CLOSED O=OPEN

TB5


1*	2*	3*
VOLT	CURR	RTN
ISOLATED		
ANALOG OUT		

TB1	RELAY 1	RELAY 2		TB2
	NO1 NC1 COM1	NO2 NC2 COM2		-E +E +20mA +R OUT OUT IN IN
	1 2 3	4 5 6		1* 2* 3* 4*
	7 8 9	10 11 12		5* 6* 7* 8*
	L N ⊕	VOLT CURR RTN		+24V +S -S -R OUT IN IN IN
	~ AC	ANALOG OUT		

S1

1	2	3	4	5	6	7	8
— OPEN —				— CLOSED —			

J1* TARE



EXT MOM.

TB2-4 & TB2-8 FOR STRAIN ONLY, NOT AVAILABLE FOR PROCESS.

* = CONNECT TO LOW VOLTAGE LIMITED ENERGY CIRCUITRY ONLY.

L'aperçu des données introduites dans le logiciel tecsol (solo) avant validation :

Solaire thermique > calculs eau chaude > dimensionnement SOLO
[conseils implantation] [dimensionnement SOLO] [outil SCHEFF] [économie et environnement]

Choix de la station ?

Pays	Station
Algérie	Adrar
Allemagne	Alger
Autriche	Biskra
Belgique	Sidi Bel Abes
Benin	
Brésil	
Bulgarie	
Burkina Faso	
Cameroun	
Chine	

Station sélectionnée : Alger Latitude : 34°43

Appliquer la méthode ESM2 +3.0°C

Les températures d'eau froide sont calculées suivant la méthode ESM2, les valeurs obtenues sont éloignées des valeurs mesurées sur nos installations télécontrôlées

Consommation ?

Calcul de la consommation annuelle

Vous connaissez la consommation annuelle

Choisissez votre catégorie d'utilisation Logement individuel ▾

Nombre de résidents dans la maison

Situation par rapport au bâtiment

 Extérieur Intérieur

Type installation



Thermosiphon sans échangeur



Température de l'eau

55 °C



Volume de stockage total

300 Litres



Nombre de ballons

1

Constante de refroidissement

Vous connaissez sa valeur :

**non**

Type d'isolant

Polyuretane

Épaisseur de l'isolant

5 cm

oui

Constante de refroidissement

 Wh/jour.l.°C

Vous trouverez dans la rubrique "capteurs solaires" du menu ci-contre, des estimations de coefficients B et K que vous pourrez entrer manuellement ci-dessous, pour certains capteurs n figurant pas dans cette liste.

Fabricant

Modèle

ou Entrer coefs Solo (CSTB)

ou Entrer coefs internationaux

B K $W/m^2 \cdot ^\circ C$

Fr $\tau\alpha$ FrUL
 $W/m^2 \cdot ^\circ C$

Capteurs II

Inclinaison Capteur $^\circ$ /Horiz. 

Orientation $^\circ$ / Sud. 

Surface Entrée Totale 
 m^2 

Valider