

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté de génie de la construction

Département du génie mécanique



*En vue de l'obtention du diplôme de Master II professionnel en Génie Mécanique,
énergétique*

Option : Froid chauffage et climatisation

Thème

Etude et conception d'un chauffe-eau solaire

Proposé et dirigé par :

M^r NEBBALI Rezki

Réalisé par :

M^r SAAD Arezki

M^r DAMOUS Hakim

Promotion 2017/2018

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous tenons à remercier **DIEU** clément et miséricordieux de nous avoir donnés la force et le courage de mener à bien ce travail.

On tient à remercier très chaleureusement notre promoteur Monsieur **NEBBALI Rezki** Professeur à l'université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou d'avoir accepté d'être notre encadreur de mémoire, ses conseils et son soutien ont été pour nous un vrai support scientifique et personnel. Qu'il trouve ici l'expression de notre respect et de notre profonde reconnaissance.

Nous exprimons notre profonde gratitude à **Mr KECILI Idir**, doctorant à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour son précieux conseils et sa disponibilité.

Nous adressons nous remerciments à Monsieur le Président de jury et Monsieur le membre de jury d'avoir accepté de nous faire l'honneur de juger ce travail et de participer au jury de ce mémoire.

Nous sincères remerciments aussi pour tous les enseignants du département du Génie Mécanique.

Enfin, nous remercions toute notre promotion et toute personne ayant aidé de près ou de loin à l'achèvement de ce travail

NOMENCLATURE

Caractères	Signification	Unités
Caractères latins majuscules		
S_i	Surface de composant i	m^2
C_{p_i}	Chaleur spécifique	$J/kg.K$
D_h	Diamètre hydraulique	m
G	Eclairement solaire	W/m^2
T_a	Température de l'air	$^{\circ}C$
T_p	Température de l'absorbeur	$^{\circ}C$
T_g	Température de la vitre	$^{\circ}C$
T_e	Température de l'eau	$^{\circ}C$
T_v	Température de la voute céleste	$^{\circ}C$
T_r	Température du réservoir	$^{\circ}C$
F_{pg}	Facteur de forme	
K_i	Conductance thermique	$(m^2.k/W)$
V	Vitesse du vent	(m/s)
N	Le numéro du jour dans l'année (1à 366)	-
I_0	Constante solaire	(W/m^2)
L	longitude	$(^{\circ})$
z	Altitude	(m)
Caractères latins minuscules		
e_i	Epaisseur de composant i	(m)
r	Rayon moyen	(m)
h_i	Coefficient d'échange convectif	$(m^2.k/W)$
m	Débit	Kg/s
Caractères grecques minuscules		
ϕ	Latitude	$(^{\circ})$
φ	Flux de chaleur	(W/m^2)
δ	Déclinaison de soleil	$(^{\circ})$
ω	Angle horaire	$(^{\circ})$
χ	L'azimut de soleil	$(^{\circ})$
θ_z	Angle zénithale	$(^{\circ})$
α	absorptivité	-
τ	transmissivité	-
ε	émissivité	-
σ	Constante de STEFAN-BOLTZMANN	$(W/m.k^{-4})$
λ	Conductivité thermique	$(W/m.k)$
γ	Hauteur solaire	$(^{\circ})$
ρ_f	la masse volumique du fluide	(kg/m^3)

μ_f	la viscosité dynamique de fluide	(Kg/m.s)
Nombres adimensionnels		
Pr	Nombre de Prandtl	-
Nu	Nombre de Nusselt	-
Re	Nombre de Reynolds	-

Sommaire

Chapitre I Gisement Solaire

1. Introduction	1
2. Le soleil	1
3. La course du soleil dans le ciel	1
4. Les coordonnées géographiques terrestres	3
4.1.Latitude (ϕ)	3
4.2.Longitude (L)	3
4.3.Altitude (z)	3
4.4.Méridienne	3
5. Coordonnée horaires	4
5.1.La déclinaison du soleil δ	4
5.2.Angle horaire (ω)	4
6. Coordonnées horizontales	5
6.1.hauteur solaire (h, γ)	5
6.2.Azimut du soleil (χ)	5
6.3.Angle zénithal θ_z	6
6.4.Angle d'incidence	6
7. Rayonnement solaire	7
7.1.Eclairement et constante solaire	8
7.2. influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire	
a- Absorption	
b- Diffusion	
7.3. Rayonnement solaire arrivant au sol	8
7.3.1. Rayonnement direct	8
7.3.2. Rayonnement direct	8
7.3.3. Le rayonnement réfléchi	8
7.3.4. Rayonnement global	9
8. Angle optimal d'inclinaison d'un panneau solaire	10
9. Rayonnement solaire en Algérie	10
Conclusion	11

Chapitre II généralité sur les chauffe-eau solaire

1. INTRODUCTION	12
2. Conversion thermique	12
3. Les capteurs solaires thermiques	12
4. Principe de fonctionnement des capteurs solaire thermiques	12
5. Les différents types de capteurs solaires thermique	13
5.1.Capteur plan vitré	13
5.2.Capteur non vitré « dit capteur moquette »	14
5.3.Capteurs tube sous vide	14
5.3.1. Capteurs à vide a circulation direct	15
5.3.2. Capteurs a tube sous vide a ''caloduc''	16
5.3.3. Les capteurs a tube sous vide a effet ''thermos''	16
5.3.4. Les capteurs a tube sous vide ''schott''	17
6. Eléments de constructions d'un capteur plans	18
6.1.Absorbeur	18
6.2.Couverture transparente	18
6.3.Le fluide caloporteur	19
6.4.L'isolation thermique	20
7. L'orientation et l'inclinaison du capteur	21
8. Fiabilité d'un capteur	21

9. Les capteurs solaires par concentration	21
9.1. Capteur solaire parabolique	22
9.2. Capteur solaire cylindro-parabolique	22
10. Chauffe-eau solaire	23
11. Différents types de chauffe-eau solaire	23
11.1. Chauffe-eau solaire monobloc	23
11.2. Chauffe-eau solaire a éléments séparées	23
11.2.1. Chauffe-eau solaire à circulation naturelle(thermosiphon)	23
11.2.2. Chauffe-eau solaire à circulation forcée	24
12. Effet de serre	26
13. Effet thermosiphon	26
14. Energie d'appoint	26
Conclusion	27

Chapitre III Etude Thermique De L'installation

1. Introduction	28
2. Description de l'installation	28
3. Bilans thermiques	29
3.1. Bilan thermique de la vitre	29
3.2. Bilan thermique de l'absorbeur	31
3.3. Bilan thermique de l'eau du capteur	32
3.4. Bilan thermique de réservoir	32
4. Détermination des coefficients d'échange thermique	33
5. Systems d'équations obtenu	35
6. Résolutions de système d'équation	36
6.1. Discrétisation des équations	36
6.2. Résolution du système des équations discrétisées	36
6.3. Organigramme de calcul	38
Conclusion	40

Chapitre IV résultats et discussions

1. Introduction	41
2. Description du capteur	41
3. Presentations des propriétés du capteur solaire thermique	43
4. Les données climatiques utilisées	44
5. Evolution de la temperature	44
5.1 Evolution de la température du l'eau pour différent masse de réservoir en fonction de temps	44
5.2. Variation de la température de l'eau en fonction de volume d'eau	48
5.3. Variation de la température de l'eau en fonction du débit	48
6. Distribution du champ de température dans le capteur	50
Conclusion	51
Conclusion Générale	

Le soleil est à l'origine de la vie sur terre, cette énergie nous arrive sous forme d'un rayonnement électromagnétique après avoir parcouru des millions de kilomètres. Notre étoile véritable boule de feu, nous envoie à travers l'espace, une énergie considérable qui nous éclaire et nous réchauffent.

Une grande partie de l'énergie utilisée aujourd'hui dans le monde provient de gisements de combustibles fossiles carbonés (charbon, pétrole, gaz). Pendant que la consommation mondiale en énergie croît ces ressources se rapprochent de l'épuisement et provoquent le réchauffement climatique. En effet, les énergies renouvelables restent une alternative avantageuse car leurs exploitations ne nuisent pas à l'environnement.

Ce constat incite au développement de nouvelles sources d'énergie renouvelable non polluantes, assurant ainsi une durabilité et une protection de l'environnement qui est devenue un point très important

Les énergies renouvelables utilisent des sources inépuisables d'énergies d'origine naturelle : rayonnement solaire, vents, cycles de l'eau et du carbone dans la biosphère, flux de chaleur interne de la terre.

Parmi les énergies renouvelables qui connaissent jour après jour des développements considérables, l'énergie solaire qui est considérée depuis longtemps comme l'origine de la majorité d'énergies.

Dans le cadre de ce travail, on s'intéresse à l'exploitation de l'énergie solaire par voie thermique en utilisant un chauffe-eau solaire pour la production d'eau chaude.

L'objectif de ce travail est l'étude thermique d'un chauffe-eau solaire qui met l'eau en contact direct avec l'absorbeur

Le présent travail comporte quatre chapitres et une annexe

- Introduction
- Chapitre I Gisement solaire
- Chapitre II Généralité sur les capteurs solaires
- Chapitre III Descriptions et étude thermique de système considéré
- Chapitre IV résultats et discussions

On finira notre travail par une conclusion générale mettant en exergue les principaux résultats obtenus.

Chapitre I. Gisement Solaire

1. Introduction

L'énergie solaire est à l'origine de la majorité des autres énergies renouvelable, le soleil fournit une énergie permanente a la terre équivalente de 1000 fois la consommation de l'humanité entières ce qui garante une espérance de vie de plusieurs milliard d'année

L'exploitation et la collecte de cette énergie pour produire la chaleur solaire thermique pour le chauffage nécessite de connaitre quelques notions sur l'irradiation solaire

Dans ce chapitre nous avons présenté des rappels sur l'énergie solaire, les différents paramètres qui influent sur l'irradiation salaire et l'intensité du flux solaire reçu au niveau du sol.

2. Le soleil

Le soleil est l'étoile centrale de notre système solaire. D'après la classification astronomique, notre étoile est de type naine jaune, Elle est composée essentiellement **d'hydrogène** (78.4% de la masse) et **d'hélium** (19.6% de la masse), les 2% restant étant composé d'autres éléments chimiques dont les principaux sont l'oxygène et le charbon.

3. Course du soleil dans le ciel

On dit la course du soleil dans le ciel même s'il est fixe, parce qu'il occupe à chaque instant un point différent dans le ciel, en décrivant des trajectoires sous forme d'arc de cercle dont le centre est le point d'observation.

La course du soleil est engendrée par la combinaison de deux mouvements de la terre, sa rotation sur elle-même, qui est responsable de la succession des jours et des nuits, et simultanément, sa révolution autour du soleil qui explique la succession des saisons.

L'orbite sur laquelle se fait le deuxième mouvement appelée l'écliptique, est sous forme d'une ellipse dont l'un des foyers est occupé par le soleil, c'est-à-dire ce dernier n'est pas au centre. Cette excentricité, qui est faible, permet de dire que la distance terre-soleil est variable en tout point de l'orbite. Le plan qui passe par l'écliptique est appelé plan écliptique, et le plan qui sépare la terre en deux hémisphères nord et sud est appelé plan équatorial, et sa trace sur le globe est l'équateur, il est perpendiculaire à l'axe de rotation de la terre.

A vrai dire, la révolution de la terre autour du soleil ne suffit pas pour décrire la succession des saisons, il y'a aussi un autre élément important et déterminant qui contribue à ce phénomène, c'est l'inclinaison de l'axe de rotation de la terre sur elle-même (axe des pôles qui est toujours parallèle à lui-même) par rapport à la verticale qui passe par l'écliptique d'un angle constant égale à $23,45^\circ$, et qui est le même angle entre le plan écliptique et le plan

Chapitre I. Gisement Solaire

équatorial. En effet l'association de la révolution de la terre autour du soleil et l'inclinaison de l'axe des pôles par rapport à la verticale de l'orbite, fait en sorte que chaque point ou chaque lieu sur la surface du globe donne une apparence différente au soleil chaque jour de l'année, donc il reçoit un éclaircissement plus ou moins fort, ce qui explique la succession des saisons.

Il y'a quatre points remarquables de l'écliptique qui sont considérés comme des références : les deux solstices, et les deux équinoxes.

- Le solstice d'été, le 22 juin : l'hémisphère nord est inclinée vers le soleil, c'est le début d'été, il correspond au jour le plus long de l'année et la nuit la plus courte, contrairement à l'hémisphère sud qui est inclinée vers l'autre côté, donc c'est l'hiver.
 - Le solstice d'hiver, le 22 décembre : c'est l'hémisphère sud qui est inclinée vers le soleil, alors que l'hémisphère nord ne l'est pas, c'est l'hiver au nord, et ça correspond au jour le plus court et la nuit la plus longue de l'année.
 - L'équinoxe de printemps, le 21 mars : les deux hémisphères de la terre sont orientés de la même façon vers le soleil, le plan équatorial passe exactement par le centre du soleil, en cette date, le cercle d'illumination qui différencie le jour de la nuit sur le globe passe par les deux pôles de la terre, donc le jour et la nuit ont la même durée égale à 12h chacun.
- L'équinoxe d'automne, le 23 septembre : est décrit de la même façon que l'équinoxe de printemps, et c'est le début de la saison d'automne

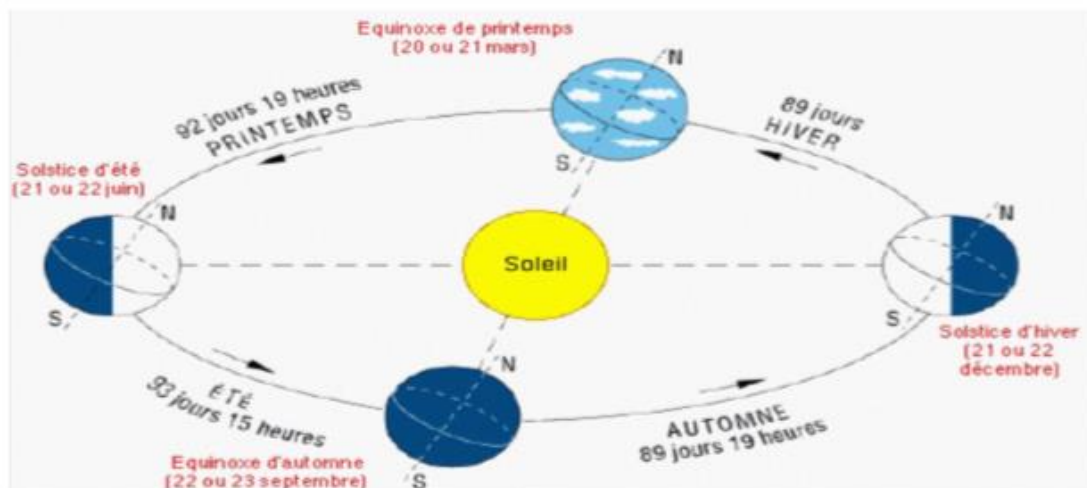


Figure I-1 : plan de l'écliptique et l'orbite des saisons

4. Coordonnées géographiques terrestres

Pour calculer la valeur de l'éclairement émis sur un lieu quel quelconque de la terre, il est nécessaire de déterminer la position de ce lieu, en usant une combinaison de coordonnées géographiques

4.1. Latitude (ϕ)

Une latitude donne la localisation d'un point par rapport à l'équateur, elle varie entre 0° et 90° , positivement vers le pôle nord et négativement vers le pôle sud.

Si $\theta > 0$, le site trouve dans l'atmosphère nord, sinon le site est dans l'hémisphère sud

4.2. Longitude (L) :

La longitude d'un lieu donnée est l'angle forme par le méridien de ce lieu avec le méridien d'origine (méridien de Greenwich), elle est comptée de 0° à 180° , Positivement vers l'est et négativement vers l'ouest.

4.3. Altitude (z) :

L'altitude est l'élévation d'un lieu par rapport au niveau de la mer, mesurée en mètre (m)

4.4. Méridienne :

Grand cercle de la terre passant par les pôles. Tous les points d'une même méridienne ont évidemment la même longitude, le méridienne pris pour origine (0°) des longitudes est celui de Greenwich. Le plan méridien en un lieu est déterminé par ce lieu et l'axe des pôles. Le temps solaire vrai est identique, a un instant donné, pour tous les points d'un même méridien.

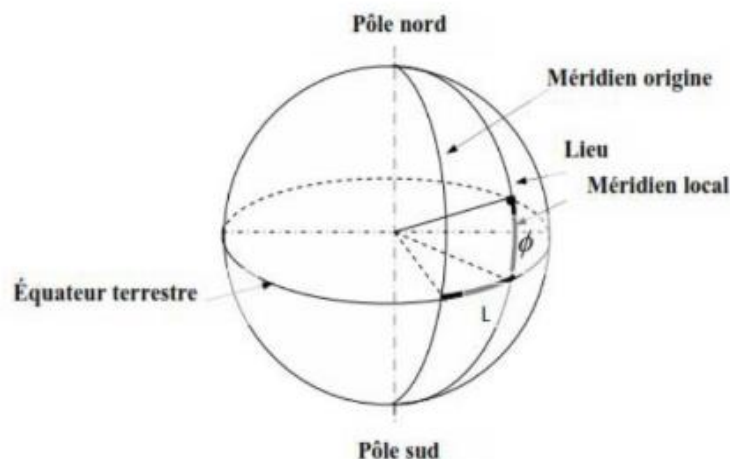


Figure I-2 : coordonnées géographiques

Chapitre I. Gisement Solaire

5. Coordonnée horaires

Les coordonnées équatoriales sont indépendantes de la position de l'observateur sur la terre, mais elles sont liées à l'heure de l'observation, et la position du soleil est exprimée par deux angles qui sont la déclinaison δ et l'angle horaire ω .

5.1. La déclinaison du soleil δ

La déclinaison est l'angle que fait la direction d'observation de soleil avec sa projection sur le plan équatorial. Elle est exprimée en degré ($^{\circ}$), minute (m) et seconde (s) d'arc. Elle traduit l'inclinaison du plan équatorial par rapport au plan écliptique.

En considérant la déclinaison comme constante sur une journée, l'équation de Kopernic fournit la relation qui relie ces deux grandeurs :

$$\delta = 23.45 \sin \left(\left[\frac{360}{365} \cdot (N + 284) \right] \right) \quad (\text{I-1})$$

Avec :

N : Le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1er janvier (1 à 366).

Elle est comptée positivement de 0 à $+90^{\circ}$ de (E) vers P (pole boréal), et négativement de 0 à -90° de (E) vers P' (pole austral).

5.2. Angle horaire (ω)

Est déterminé par la rotation régulière de la terre autour de son axe. Elle est comptée positivement dans le sens rétrograde de 0 à $+360^{\circ}$, une heure sidérale vaut donc 15° d'angle et $\omega = 0^{\circ}$ (12h.00) au méridien de Greenwich. L'angle horaire est donné par la relation suivante :

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

Ou TSV est le temps solaire vrai.

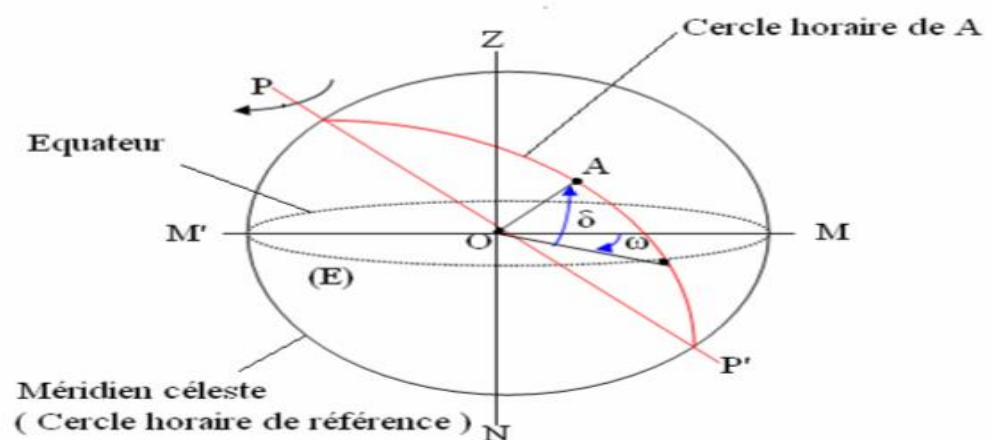


Figure I-3 : coordonnées horaires

Chapitre I. Gisement Solaire

6. Coordonnées horizontales

Les coordonnées horizontales dépendent du lieu d'observation. Elles ont comme plan de référence le plan horizontal, perpendiculaire à la verticale du lieu. Un objet est repéré dans ce système de coordonnées par ces composantes :

6.1. hauteur solaire (h, γ)

C'est l'angle compris entre la direction du soleil et le plan horizontal, sa valeur est nulle au lever ou au coucher du soleil et maximale lorsque le soleil est à son zénith.

Elle varie au cours de la journée en fonction de la déclinaison δ de l'angle horaire ω , et de la latitude ϕ .

L'angle de la hauteur solaire est donné par :

$$\sin(h) = \sin(\delta) \sin(\phi) + \cos(\omega) \cos(\delta) \cos(\phi) \quad (\text{I-4})$$

6.2. Azimut du soleil (χ)

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

Il est compté de 0° à 360° d'Ouest en Est, ou de 0° à 180° à partir du sud vers l'ouest. La relation qui donne l'azimut est donnée par la relation ci-dessous :

$$\sin \chi = \frac{\cos \delta \cos \omega \sin \phi - \sin \delta \cos \phi}{\cos \gamma}$$

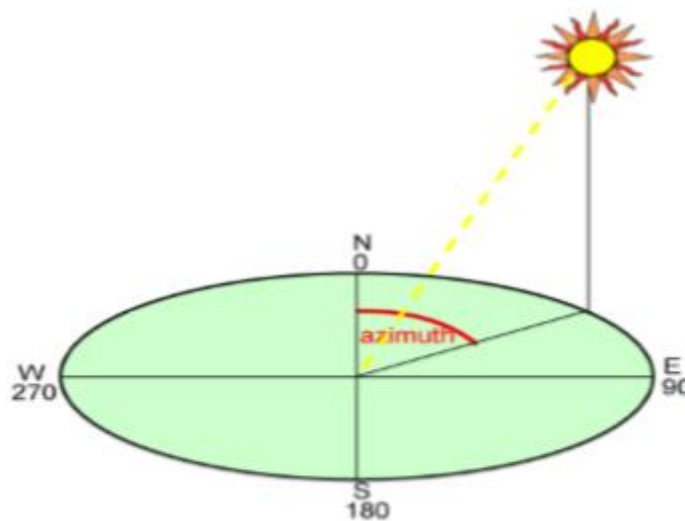


Figure. I.4. azimut du soleil

6.3. Angle zénithal θ_z

C'est l'angle entre le Zénith local et la ligne joignant l'observateur et le soleil. Il varie de 0 à 90° . Cet angle est donné par la relation ci-dessous :

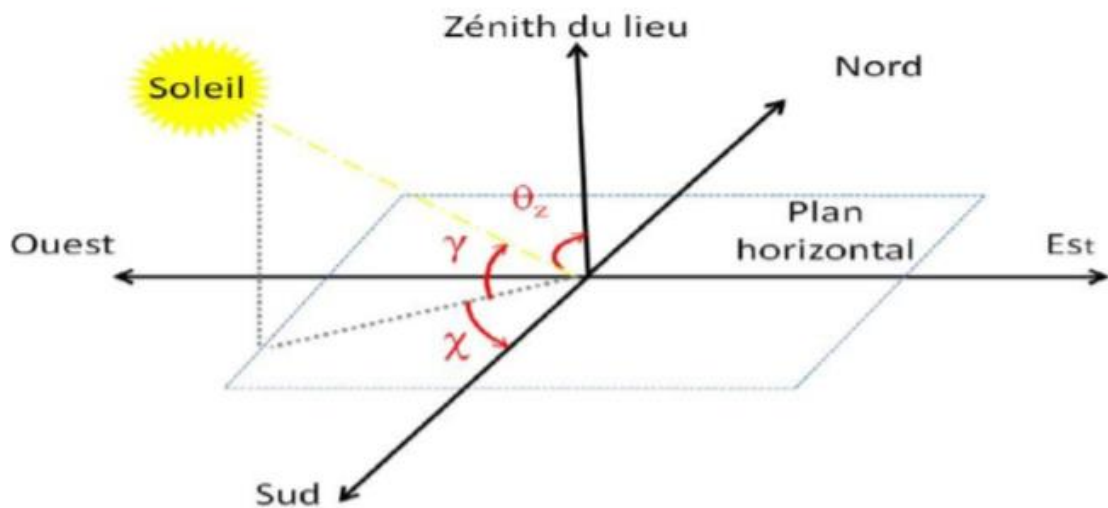


Figure. I.5 : coordonnées horizontales

6.4. Angle d'incidence :

C'est l'angle que fait le rayonnement émis directement sur le plan de réception avec la normale de ce plan



Figure. I.6 : Angle d'incidence

7. Rayonnement solaire

Le soleil émet un rayonnement qui peut être assimilé, en première approximation, à celui d'un corps noir à 5800°K. ce rayonnement propage dans l'espace sous forme d'onde électromagnétique, il atteint la terre après environs huit minutes de son émission.

Chapitre I. Gisement Solaire

Les 98% de l'énergie émise se situent dans la bande de longueur d'onde comprise entre 0.25 et 3 μm [1]

La terre reçoit une partie de ce rayonnement, le flux énergétique reçu par la terre est appelé éclairement énergétique, abrégé en éclairement.

La moyenne annuelle de cet éclairement reçu sur un plan normal aux rayons du soleil situé au sommet de l'atmosphère est appelée constante solaire.

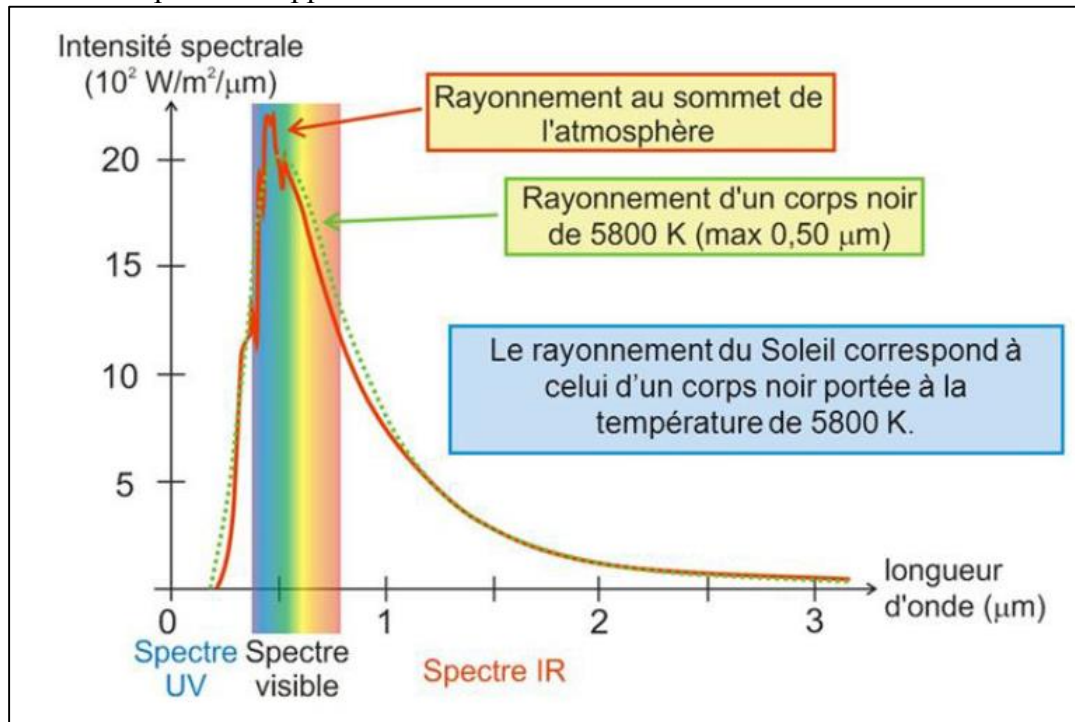


Figure I.7. Spectre du rayonnement solaire reçu hors atmosphère

7.1.Éclairement et constante solaire

L'éclairement est le flux solaire traversant une surface unitaire perpendiculaire aux rayons du soleil et se situant au sommet de l'atmosphère, il dépend de la distance réelle terre-soleil, laquelle varie selon les saisons. Il s'exprime en W/m^2 .

La constante solaire I_{sc} représente la moyenne annuelle de cet éclairement [1]. La valeur de I_{sc} la plus utilisée est celle adoptée par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) en octobre 1981 avec une incertitude de 1% ($I_{sc}=1367 \text{ W/m}^2$).

Les mesures par satellite ont permis d'établir une formule empirique, d'une précision acceptable, donnant l'intensité de l'éclairement au sommet de l'atmosphère I_0 en fonction du facteur de correction de la distance Terre-Soleil ε , I_0 est exprimée par :

$$I_0(j) = I_{sc} \varepsilon(j)$$

Le facteur ε représente le coefficient de correction dû à la variation de la distance terre-soleil, il varie en fonction du numéro du jour de l'année j , il est calculé par l'équation suivante [1]:

$$\varepsilon(j) = 1 + 0.0344 \times \cos\left(\frac{2\pi}{365.25}j\right)$$

7.2. Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire

L'irradiation solaire perd son intensité en traversant l'atmosphère terrestre.

Deux phénomènes atténuent ce rayonnement, il s'agit de l'absorption et de la diffusion [11] :

a- Absorption

Elle est sélective et dépend principalement de :

- L'ozone qui forme un écran qui arrête les UV ($\lambda < 0,28 \mu\text{m}$).
- l'oxygène qui absorbe des bandes étroites du spectre visible (vers $0,69$ et $0,76 \mu\text{m}$).
- Le gaz carbonique qui absorbe une partie de l'IR lointain ($\lambda > 2 \mu\text{m}$).

La vapeur d'eau qui entraîne des bandes d'absorption multiples surtout dans l'IR. On ne la rencontre pratiquement qu'au niveau du sol.

b-diffusion

En plus de l'absorption sélective liée aux gaz atmosphériques, le rayonnement solaire est soumis à la diffusion lors de sa traversée de l'atmosphère, il s'agit d'une redistribution spectrale du rayonnement par des particules. On distingue trois types de diffusion atmosphériques :

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

Avec :

r = le rayon moyen de la particule diffusante.

7.3. Rayonnement solaire arrivant au sol

Le calcul et les mesures par satellite montrent que la terre qui est située à environ 150 millions de kilomètres du soleil, reçoit de sa part un rayonnement d'une puissance moyenne de 1367 W/m^2 , c'est la puissance reçue par une unité de surface qui serait perpendiculaire aux rayonnements juste au-dessus de l'atmosphère terrestre. En traversant l'atmosphère terrestre, le rayonnement solaire est absorbé ou diffusé, on distingue plusieurs composants

7.3.1. Rayonnement direct

C'est le rayonnement reçu directement du soleil. C'est ce type de rayonnement qui est utilisé dans le système à concentration

7.3.2. Rayonnement diffus

Le rayonnement diffusé par les différents gaz constitue l'atmosphère, des rayons lumineux issus du Soleil traversent les nuages et se diffusent sur toute la surface de la Terre, il contribue à l'éclairement mais ne peut pas être concentré (à l'inverse du rayonnement direct).

7.3.3. Le rayonnement réfléchi

Le rayonnement réfléchi d_{re} est la composante de l'éclairement par la surface terrestre, cette composante est prise en compte seulement dans le cas d'une surface inclinée, elle dépend essentiellement du type de surface. La fraction d'énergie réfléchie par rapport à l'énergie incidente est appelée Albédo. Ce terme étant généralement réservé au sol ou aux nuages, c'est une valeur moyenne de leur réflectance pour le rayonnement considéré et pour tous les angles d'incidences possibles. Il dépend fortement de la nature du sol et l'état de la surface. L'albédo total du système Terre/Atmosphère vaut environ 0.3 ce qui signifie que 30% du rayonnement solaire est réfléchi et 70% est absorbé

$$alb = \frac{\text{énergie refléchiée}}{\text{énergie reçue}} \quad (\text{I-19})$$

Ainsi pour un corps noir parfait, l'albédo est nul, On peut citer quelques valeurs moyennes typiques pour différentes sortes de sols ou d'états de surface :

Nature du sol	Albédo
Neige fraîche	0.50 a 0.70
Sol rocheux	0.15 a 0.25
Foret	0.06 a 0.20
Neige ancienne	0.8 a 0.9

Tableau I-1 : Valeurs typiques de l'albédo du sol

7.3.4. Rayonnement global

C'est la somme du rayonnement direct, diffus et l'albédo c'est celui-ci qui est utilisé pour faire fonctionner les panneaux solaires thermique et photovoltaïque (système sans concentration)

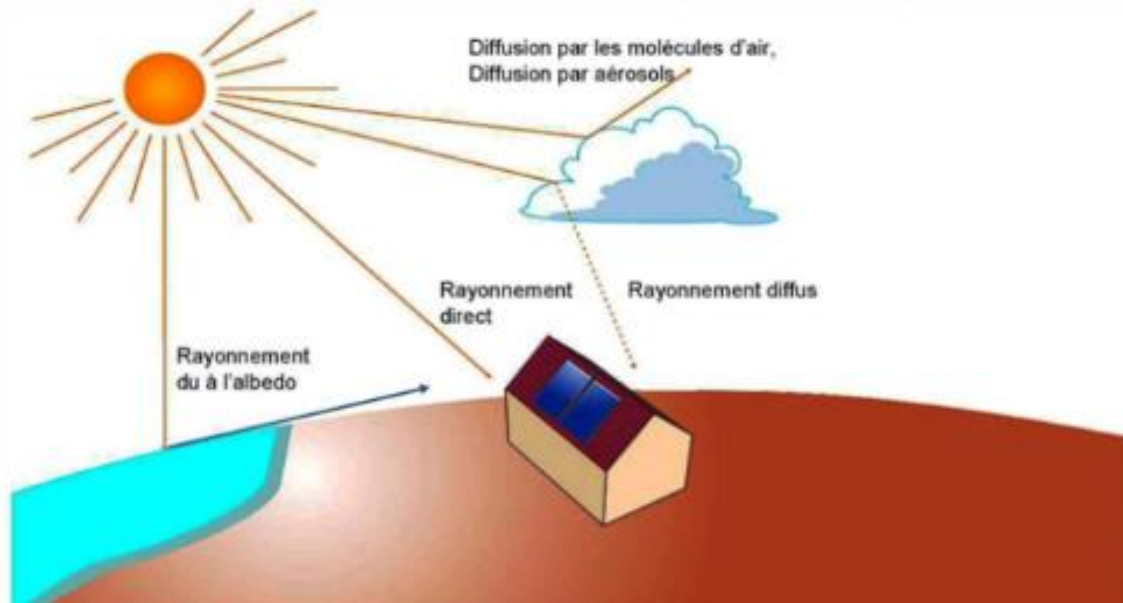


Figure I.8. Rayonnement solaire

8. Angle optimal d'inclinaison d'un panneau solaire

Pour maximiser la quantité d'énergie à récupérer sur un panneau solaire, il est important de choisir un angle optimal d'inclinaison de ce panneau.

L'angle d'inclinaison dépend fortement de la latitude du lieu et de la période considérée. [2] :

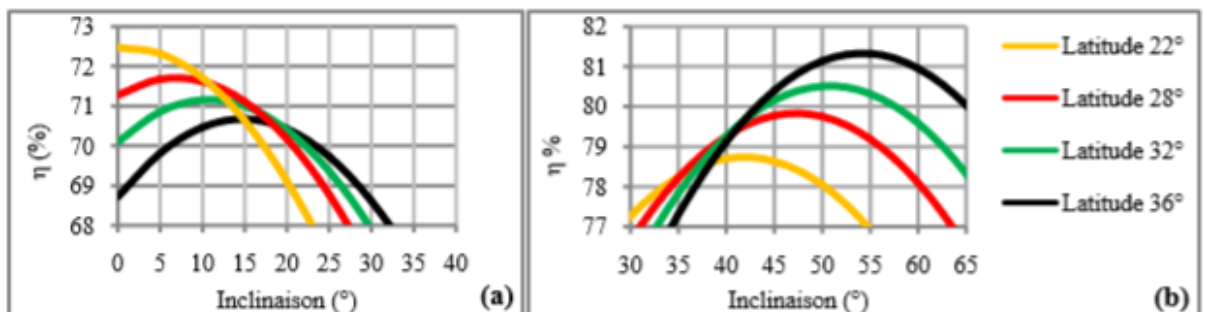


Figure I-9 : Ecart relatif optimum entre l'énergie reçue par une installation fixe et une installation équipée d'un traqueur. (a) saison estivale. (b) saison hivernale.

9. Rayonnement solaire en Algérie

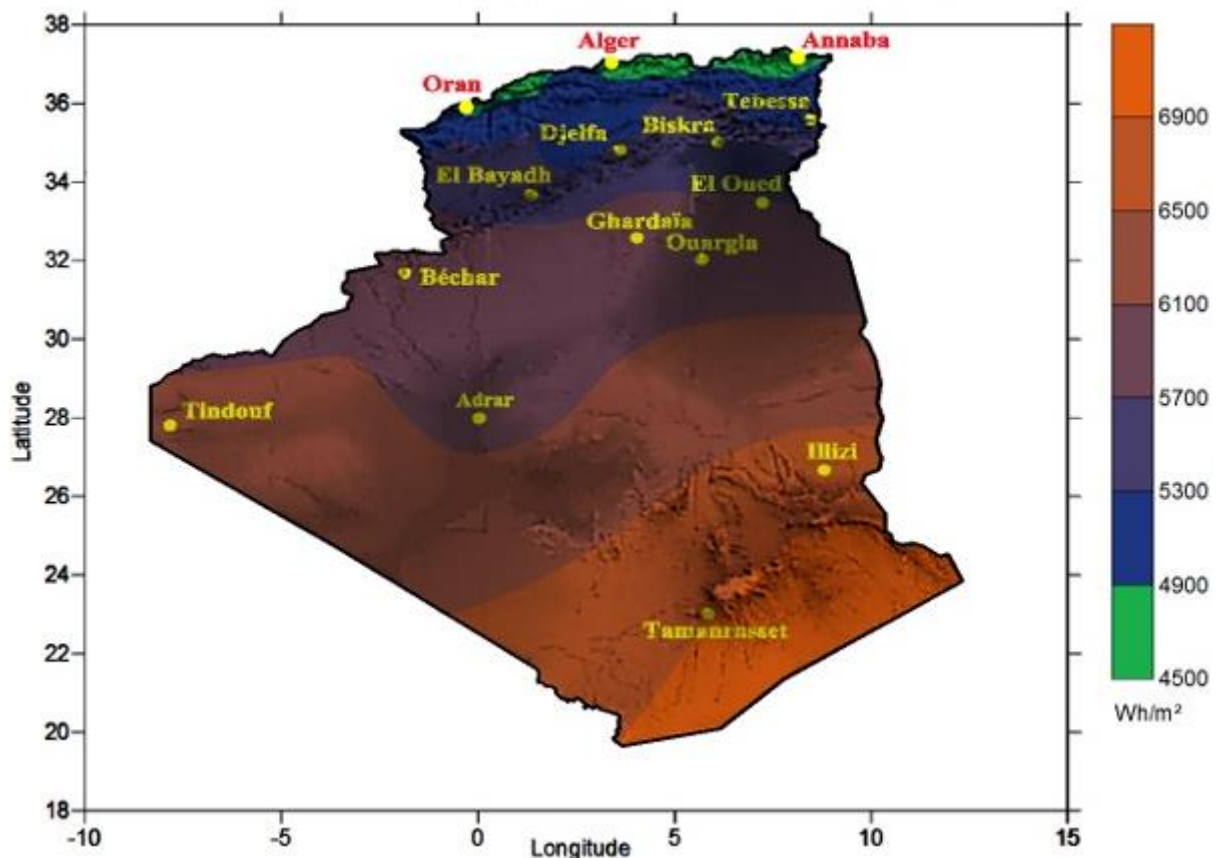


Figure I.10 : Carte de l'irradiation solaire en Algérie (publier par CDER)

Conclusion :

Longtemps étudié et encore de nos jours, le rayonnement solaire est essentiel à la survie de l'homme notamment grâce à la source de chaleur qu'il apporte.

Cette énergie est renouvelable et inépuisable, elle dépend des conditions métrologique et géographique qui rend son exploitation difficile pour cela l'homme cherché a développée des techniques pour simplifier l'exploitation de cette énergie, qui sont présenter dans le chapitre suivant

Le Soleil est essentiel à la vie humaine, sans lui la vie ne serait simplement plus possible.

1. INTRODUCTION

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

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents types des capteurs solaires qui sont les principaux organes pour la conversion de rayonnement solaire ainsi les chauffe-eau solaire qui sont servi pour la production de l'eau chaude.

2. Conversion thermique

Le solaire thermique est une technique utilisée pour produire de la chaleur à partir du rayonnement du soleil, [3], Il se présente de différentes façons : centrales solaires thermodynamiques, chauffe-eau et chauffage solaires et sécheurs solaires.

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

3. Les capteurs solaire thermique

On appelle un capteur solaire thermique un appareil susceptible de transformer l'énergie du rayonnement solaire en énergie thermique qui peut être utilisée après pour chauffer des locaux, fournir de l'eau chaude sanitaire, sécher les grains, faire fonctionner des moteurs thermiques.

Il existe toute une gamme de capteurs solaires qui permettent de répondre aux différents besoins, leur choix dépend de la température désirée de l'eau chaude et des conditions climatiques pendant la période d'utilisation du système. Il faut choisir le type de capteur qui correspond le mieux au niveau de température auquel on désire. Bien entendu, plus le niveau de température est élevé, plus les technologies mises en œuvre sont évoluées et plus les coûts de production sont élevés.

4. Principe de fonctionnement des capteurs solaires thermique

Les capteurs solaires thermiques constituent le cœur des installations destinées à transformer l'énergie transmise par le soleil en chaleur. Le rayonnement solaire est absorbé par une surface noire, parcourue par un fluide caloporteur qui extrait l'énergie thermique et la transfère vers son lieu d'utilisation ou de stockage. La plupart des capteurs sont munis d'une couverture transparente qui laisse passer la plus grande partie du rayonnement solaire et évite le refroidissement de l'absorbeur. Les échanges par convection entre celui-ci et la couverture

transparente sont réduits, de même que l'émission du rayonnement infrarouge de l'absorbeur. C'est le principe de " l'effet de serre ", une isolation thermique est disposée à l'arrière du capteur pour limiter les déperditions thermiques.

5. Les différents capteurs solaires thermique

5.1. Capteur plan vitré

Ils comprennent un caisson isolant au-dessus duquel est fixée une vitre en verre ou en plastique. A l'intérieur, une feuille métallique noire absorbe l'énergie rayonnée et qui est emprisonnée dans le caisson. Cette chaleur est transmise à un autre fluide caloporteur qui ne gèle pas en hiver. Ce fluide caloporteur circule librement dans des tuyaux vers le point d'utilisation. L'élévation de température par rapport à la température de l'air ambiant peut atteindre $+70^{\circ}\text{C}$. C'est l'idéal pour produire de l'eau chaude pour la maison ou pour le chauffage de tous les types de bâtiments.

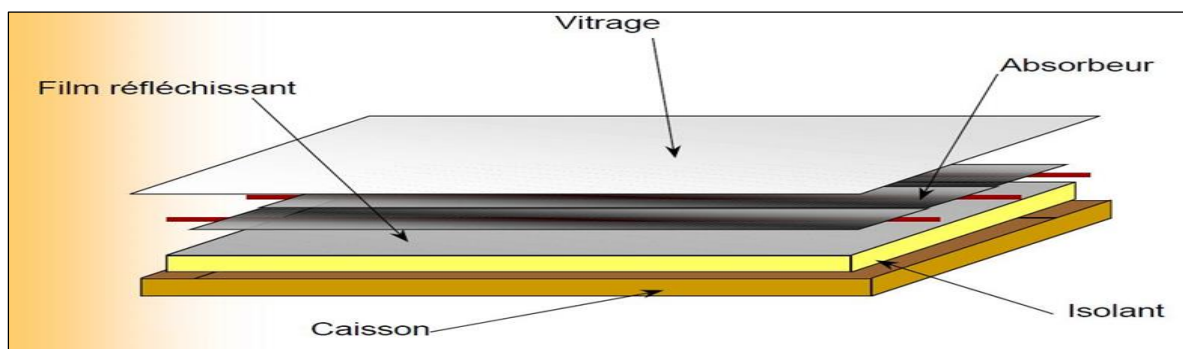


Figure II.1 : Composants d'un capteur plan avec vitrage

♦ Application

Le capteur plan vitré est bien adapté aux besoins des habitations. Ses températures de fonctionnement correspondent aux températures de production de chauffage et d'eau chaude sanitaire.



Figure II.2. : Domaines d'application de capteur plan vitré

5.2. Capteur non vitré « dit capteur moquette »

C'est le modèle le plus simple, le plus économique mais le moins performant. Il est généralement constitué d'une simple plaque de métal ou de matière plastique (absorbeur) sur laquelle sont collés plusieurs tubes porteurs de fluide caloporteur.

Les capteurs plans non vitrés ne sont pas isolés sur la face avant, c'est pourquoi ils répondent mieux à des applications à basse températures (inférieure à 30°C). Le domaine d'utilisation principal de ce type de capteurs est le chauffage des piscines extérieures parce qu'ils n'ont pas de vitrage, ces capteurs absorbent une grande partie de l'énergie solaire. Toutefois, parce qu'ils ne sont pas isolés sur leur face avant, la grande partie de la chaleur absorbée est perdue lorsqu'il y a notamment du vent et que la température extérieure n'est pas assez élevée. Brassé par l'air chaud, ces capteurs absorbent la chaleur échangée en particulier au cours de la nuit lorsque la température est élevée en présence du vent à l'extérieur. [4]

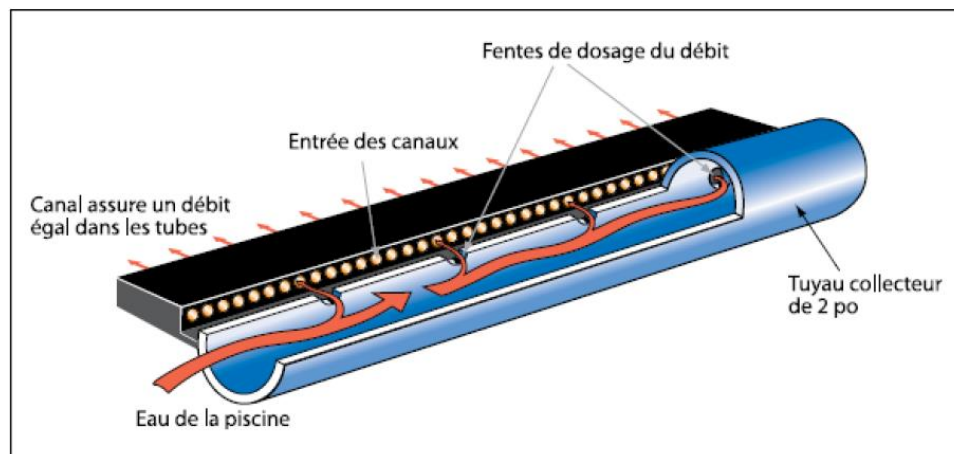


Figure II.3. : Capteur non vitré

5.3. Capteurs à tube sous vide

Les capteurs solaires à tubes sous vide sont des capteurs solaires qui ont une meilleure performance que les capteurs plans pour un fonctionnement à haute température dans l'intervalle de 77 à 170 °C. Ils sont bien adaptés pour les applications de chauffage commercial et industriel.

Le capteur solaire à tubes sous vide est constitué des rangées de tubes de verre parallèles, reliées à un tuyau d'en-tête comme illustre la figure (II-4). L'air à l'intérieur de chaque tube est retiré et atteint des pressions de vide autour de 10–3 mbar. Cela crée des conditions d'isolation élevées pour éliminer les pertes de chaleur par convection et par rayonnement, pour atteindre des températures plus élevées. Ces capteurs sont classés en fonction de leurs nœuds de liaison-matériaux ; par exemple verre-métal ou verre-verre et par l'agencement des tubes

(concentriques ou tube en U). A l'intérieur de chaque tube nous avons une ailette métallique plane ou incurvée, elle est attachée à un tube de cuivre. L'ailette est revêtue d'un film mince dont les propriétés optiques sélectives permettent d'atteindre une forte absorbance du rayonnement solaire et réduite les pertes de chaleur par rayonnement [4]



Figure II.4 : Capteur solaire a tube sous vide

Il existe 03 famille de capteurs a tube sous vide

5.3.1. Capteur à tube vide a circulation direct

Dans ce type de capteur, la conception de l'absorbeur et les tuyaux de circulation du fluide caloporteur sont comme un capteur plan. Sauf, l'ensemble est suffisamment étroit pour être glisser à l'intérieur d'un tube en verre. Un rendement élevé est obtenue par ce transfert thermique direct. On peut par ailleurs orienter l'absorbeur par rapport au soleil au moment de l'installation, ce que en fait un très bon capteur pour les implantations en façades par exemple. Les tubes sous vide à flux direct ont un second avantage par rapport aux tubes sous vide classique : on peut les monter directement en toiture terrasse, mais seulement dans des régions à faible enneigement. Cela signifie que les couts du support de fixation peuvent être réduite en minimum.

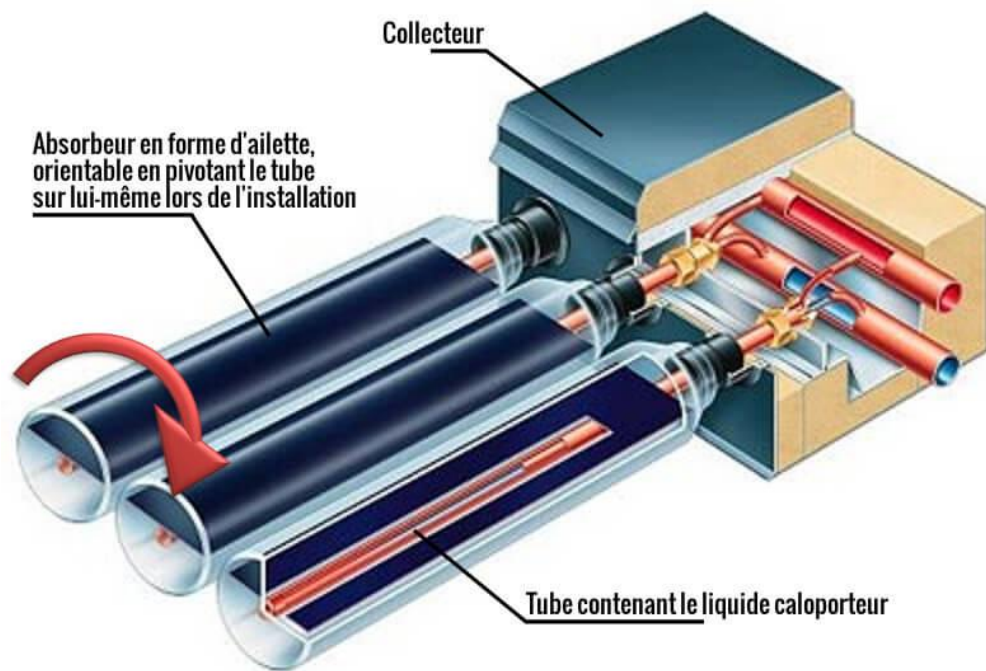


Figure II.5 : Capteur à tube vide a circulation direct

5.3.2. Capteurs a tube sous vide a "Caloduc"

Dans ces systèmes, la chaleur est transférée depuis l'ailette jusqu'à un collecteur situé en partie haute de capteur grâce à un caloduc. C'est un échangeur qui utilise les mécanismes de transfert de chaleur par évaporation et condensation d'un fluide placé dans un tube fermé, le fluide s'évapore en captant la chaleur fournie par l'ailette, s'élève jusqu'en partie haute, et retourne par gravité en bas du tube. Pour permettre ce retour, les tubes doivent être installés avec une inclinaison. Ce type de montage permet le remplacement d'un tube en cas de bris, sans devoir purger toute l'installation.

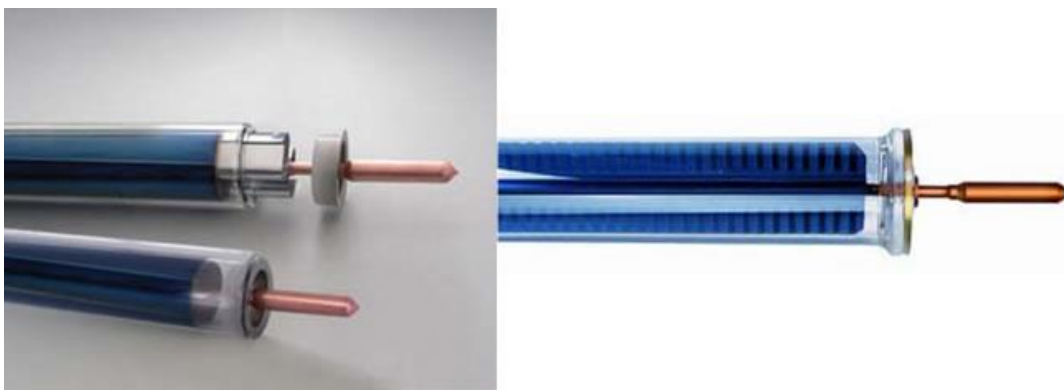


Figure II.6 : Capteurs a tube sous vide a "Caloduc"

5.3.3. Les capteurs à tube sous vide à effet "thermos"

C'est le principe d'enveloppe sous vide utilisée pour garder les boissons chaudes dans une bouteille thermos. Le tube inférieur sert d'absorbeur car la surface est traitée pour être

absorbante et sélective. Cela veut dire que cette surface capte le rayonnement solaire, mais en chauffant, elle émet très peu de rayonnement infrarouge. La chaleur est transmise hors de l'enveloppe sous vide du tube par la circulation d'un fluide en contact avec l'absorbeur ou par un caloduc.

Le principe est simple : l'eau contenue dans les tubes sous vide se réchauffe grâce au revêtement sélectif dont les tubes sont revêtus et vient remonter dans le ballon de stockage pour le chauffer. L'eau froide descend immédiatement pour se réchauffer à son tour.



Figure II.7 : Les capteurs à tube sous vide à effet “thermos”

5.3.4. Les capteurs à tube sous vide “Schott”

Le tube sous vide fabriqué par l'entreprise Schott-rohrglas en Allemagne utilise le principe “thermos” avec plusieurs perfectionnements techniques.

D'abord, une partie de la paroi intérieure du tube extérieur est un réflecteur cylindrique et ensuite, le tube intérieur sert comme absorbeur aussi bien qu'échangeur de chaleur avec le fluide caloporteur. L'utilisation des métaux est réduite à des traitements de surface du tube et les différentes pièces du collecteur. Cette technique peut servir pour plusieurs applications.

Avec un tube pour le retour du caloporteur enfilé dans le tube sous vide, chaque tube et l'ensemble du capteur peuvent fonctionner en thermosiphon. Et si le tube intérieur est traversant, ce capteur peut servir comme foyer d'un capteur à concentration à haute température

6. Eléments de constructions d'un capteur plan

6.1 Absorbeur

Assure trois fonctions : absorbe le rayonnement solaire, transformer ce rayonnement en chaleur, transmettre cette chaleur au fluide caloporteur.

L'éclairement de l'absorbeur dépend de l'inclinaison du capteur par rapport au soleil. Il faut donc l'orienter de façon à ce qu'il reçoive un rayonnement solaire optimale. L'absorbeur utilise le rayonnement directe (provenant du disque solaire) et diffus (provenant de la voute céleste), il n'est donc pas nécessaire de l'orienter en permanence en direction de soleil.

La fraction du rayonnement solaire incident qui est absorbée par le capteur est appelé facteur d'absorption solaire α^* (ou absorptivité) de la surface. L'absorbeur, en chauffant, va rayonner dans l'infrarouge. La fraction d'énergie effectivement rayonnée sur l'énergie que rayonnerait la surface considérée comme un corps noir est appelé facteur d'émission infrarouge ε ou émissivité

Le tableau suivant nous donne la sélectivité de quelque surface.

Notons que c'est le revêtement qui compte, une surface d'un matériau donné mais revêtu d'une couche de peinture noir ou blanche n'auras pas le même comportement sur le plan des échanges radiatifs. [9]

Nature	α^*	E
Acier et nickel noir sur nickel	0.95	0.07
Acier et chrome noir sur nickel	0.95	0.09
Acier et chrome noir	0.91	0.07
Cuivre et chrome noir	0.95	0.014
Acier galvanisé et chrome noir	0.95	0.015
Acier et oxyde de fer	0.85	0.08
Cuivre et cuivre noir	0.88	0.16
Aluminium et oxyde de magnése	0.70	0.08
Acier et couche organique sur oxyde de fer	0.90	0.16
Acier et couche organique sur chrome noir	0.94	0.20
Cuivre et Ebanol C sur cuivre	0.90	0.16

Tableau II.1. : Propriété des surfaces sélective [5]

6.2 Couverture transparente

Son rôle est de créer l'effet de serre, en laissant passer la plus grande partie du rayonnement solaire incident et en devenant opaque au rayonnement I.R qui provient de l'absorbeur. En effet ce dernier reçoit le rayonnement transmis par la vitre, s'échauffe et réémet du fait de sa propre température dans le grandes longueur d'onde (I.R).

Bekkouche [6] a montré que sous l'effet de conditions climatiques constantes, le capteur va atteindre immédiatement l'équilibre thermique. L'influence de la température extérieure apparaît nettement sur le profil de la température de la vitre. Ceci peut être justifié par le fait que le vitrage est soumis à l'effet de différentes conditions climatiques, plus particulièrement, la vitesse du vent et la température ambiante, Une légère variation de celles-ci agit visiblement sur l'évolution de la température de la vitre. [7]

Les couvertures transparentes habituelle sont pour la plut part en verre mais on peut trouver aussi des produits de synthèse tel que le polycarbonate, le poly méthacrylate ou bien le polyester armé.

Le tableau suivant nous donne les propriétés physiques de verre et de plastique

matériaux	τ^* %	ρ kg/m^3	C_p $J/kg.k$	λ $W/m.k$
Verre à vitre	85-92	2700	840	0.93
Polycarbonate	82-89	1200	1260	0.2
poly méthacrylate	89-92	1200	1460	0.2
polyester armé	77-90	1400	1050	0.21

Tableau II.2. Propriétés physique de verre et de plastique [9]

6.3.Le fluide caloporteur

Le fluide caloporteur permet d'évacuer la chaleur emmagasinée par l'absorbeur et de la transmettre vers là où elle doit être consommée. Un bon fluide caloporteur doit prendre en compte les conditions suivantes :

- Être chimiquement stable lorsqu'il atteint une forte température, en particulier lors de la stagnation du capteur.
- Posséder des propriétés antigel en corrélation avec les conditions météorologiques locales.

- Posséder des propriétés anticorrosives selon la nature des matériaux présents dans le circuit capteur.
- Posséder une chaleur spécifique et une conductivité thermique élevées afin de transporter efficacement la chaleur.
- Être non-toxique et avoir un faible impact sur l'environnement.
- Avoir une basse viscosité afin de faciliter la tâche de la pompe de circulation.
- Être facilement disponible et bon marché.

Le bon compromis par rapport à ces critères est un mélange d'eau et de glycol (utilisé dans le liquide de refroidissement des automobiles), même s'il n'est pas rare de trouver des systèmes fonctionnant à l'eau pure ou tout simplement à l'air selon l'utilisation. [9]

6.4.L'isolation thermique

Pour minimiser les pertes calorifiques du système, il faut isoler ses parois. Vers l'avance c'est plus souvent une lame d'air qui fait office isolant. Son épaisseur ne doit pas être trop importante pour limiter les transferts par convection. On choisira une distance comprise entre 2 et 3 cm. A la partie arrière du capteur, on place une ou plusieurs couches d'isolant du type laine de verre, polystyrène, mousse de polyuréthane, le tableau suivant représente les propriétés thermiques de quelques matériaux peuvent servir d'isolant

Matériaux	Conductivité thermique λ W/m.k	Masse volumique ρ Kg/m ³	Chaleur massique C_p J/kg.k
Air (à 20°C)	0.025	1.2	1003
Mousse de polyuréthane	0.029	30	1600
Laine de verre	0.036	40	840
Béton cellulaire	0.075	280	800
Papier journal comprimé	0.105	130	1340
Bois de sapin	0.144	535	272
Caoutchouc pur	0.153	1200	2170
PVC	0.166	1380	1000
Plâtre	0.35	800	800
Brique	0.697	1700	900
Sol naturel	1.5	1650	-

Tableau II.3 : propriété thermique de quelques matériaux peuvent servir d'isolant [9]

7. L'orientation et l'inclinaison du capteur

L'influence de l'orientation d'un capteur et de son inclinaison avec l'horizontal est due au fait que ces deux dernières changent le rayonnement solaire atteignant la surface du capteur.

La meilleure orientation du capteur solaire est de l'orienter directement au sud. L'angle optimum d'inclinaison est appliqué à une variété de systèmes, tels que, les capteurs plans ou paraboliques, les panneaux photovoltaïques, maisons solaires et serres installées dans une position fixe. Cet angle joue un rôle important en augmentant la collection d'énergie par les capteurs solaires.

8. Fiabilité d'un capteur

Un capteur solaire sera soumis à de nombreuses contraintes climatiques et de fonctionnement tout au long de sa vie. Il est donc nécessaire que ces capteurs ne tombent pas en panne lorsqu'ils rencontrent ces types de contraintes. Les tests de fiabilité et de durabilité ont été conçus pour reproduire les conditions extrêmes les plus probables qu'un collecteur sera soumis. Pour chaque essai, les normes européennes décrivent d'une manière très simple les conditions qui sont destinées à être simulées par chaque test.

Il faut avoir ces conditions

- Résistance au haute température
- Résistance au gel
- Résistance aux chocs thermiques
- Bonne tenue de l'étanchéité
- Résistance à la charge

9. Les capteurs solaires par concentration

Les capteurs plans ne peuvent généralement pas porter les fluides caloporteurs à très hautes températures. En revanche, il est possible d'utiliser des capteurs par concentration, mais ils sont plus complexes.

Un capteur à concentration est un capteur solaire comportant un système optique (réflecteur, lentilles, ...) destiné à concentrer sur l'absorbeur le rayonnement reçu (d'où le nom de capteur à concentration).

On peut distinguer deux types de capteurs à concentration [9] :

9.1. Capteur solaire parabolique

Ressemblant à des paraboles de réception satellite, le capteur solaire parabolique est un miroir qui concentre les rayons solaires dans un foyer ponctuel. Les progrès réalisés ont permis d'atteindre des rendements dépassant ceux des autres technologies thermo solaires.

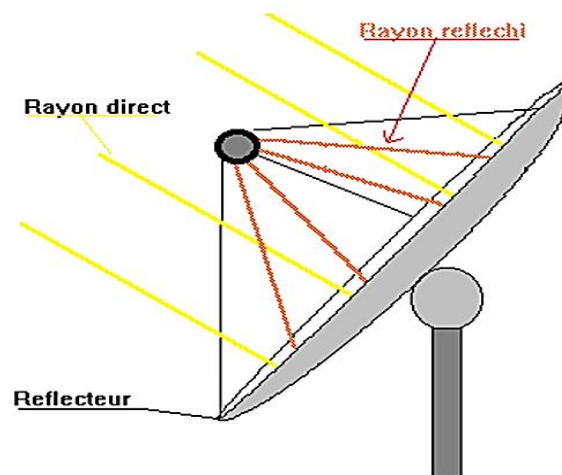


Figure II.8 : Principe de fonctionnement d'un capteur à miroirs paraboliques.

9.2. Capteur solaire cylindro-parabolique

Un capteur cylindro-parabolique est un capteur à concentration à foyer linéaire utilisant un réflecteur cylindrique de section parabolique. Dans un concentrateur cylindro-parabolique, le fluide caloporteur (eau, huile thermique ou gaz) peut être porté à environ 400 °C

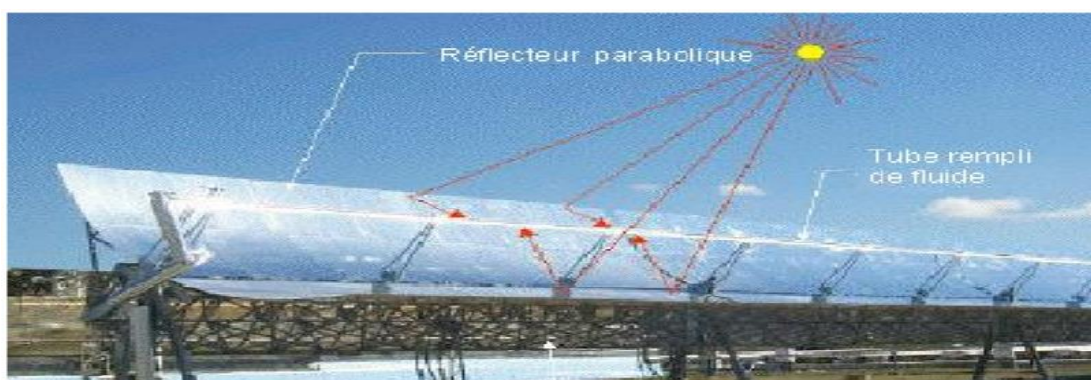


Figure II.9 : Système à réflecteur Capteurs cylindro-paraboliques

10. Chauffe-eau solaire

Un chauffe-eau solaire est un dispositif de captation de l'énergie solaire destiné pour fournir partiellement ou totalement de l'eau chaude sanitaire, il est constitué essentiellement d'un capteur plan thermique, un circuit de circulation et d'un réservoir souvent appelé ballon pour le stockage de l'eau.

En pratique, on prévoit 1m^2 de capteur solaire thermique par personne et un volume de stockage d'environ 50 litres par 1 m^2 de capteur.[8]

11. Différents types de chauffe-eau solaire

L'énergie interceptée par le capteur solaire et convertie en chaleur est transmise au fluide caloporteur et elle est transférée vers un réservoir de stockage. Ainsi, selon la nature de circulation du fluide et la disposition des éléments, on distingue plusieurs systèmes de chauffe-eau solaire.

11.1. Le chauffe-eau solaire monobloc

Les capteurs et le ballon sont groupés sur un même châssis rigide et sont placés à l'extérieur. Ce système a l'avantage d'être simple et peu coûteux. Il s'installe généralement sur une terrasse ou dans un jardin mais plus difficilement en toiture inclinée. Son inconvénient c'est que les pertes thermiques sont importantes même si le ballon est bien isolé. En outre, son intégration architecturale est plus difficile. Ce système est souvent pour un usage uniquement en été.

11.2. Les chauffe-eau solaire à élément séparés

Dans ce cas, le ballon est à l'abri dans une pièce de la maison ou dans un bâtiment annexe. Il permet d'éviter les pertes thermiques et peut être efficace quasiment toute l'année. Il existe deux types de chauffe-eau solaire à élément séparés

11.2.1. Chauffe-eau solaire à circulation naturelle(thermosiphon)

Le capteur et le ballon de stockage forment un seul circuit, avec le ballon de stockage doit être obligatoirement placée plus haut que les capteurs.

Sous l'effet d'un rayonnement solaire, l'eau contenue dans le capteur s'échauffe et sa densité diminue, selon le principe de gravitation elle s'élève dans le circuit et elle est remplacée par de l'eau plus froide (et donc plus lourde) en provenance du ballon. C'est l'effet thermosiphon.

Avantages :

- Il ne comporte pas des pompes ni de régulation, et ne nécessite pas de raccordement à un réseau électrique.
- Simplicité de réalisation
- Pas de pertes provoquées par l'adjonction d'un échangeur donc un bon rendement thermique
- Cout plus bas (dû à l'absence de l'échangeur de chaleur et de fluide anti gel).

Inconvénient :

- Risque de gèle dans le circuit (dû à l'absence de fluide antigel)
- Le débit du fluide caloporteur est autorégulé (circulation naturelle)
- Le capteur et le ballon doivent résister à des fortes pressions (en cas de fort ensoleillement)



Figure II.10 : Chauffe-eau solaire à circulation naturelle (thermosiphon)

11.2.2. Chauffe-eau solaire à circulation forcée [8]

Cette catégorie regroupe les chauffe-eau solaires qui font appel à un circulateur pour transférer l'eau chauffée dans le collecteur depuis le capteur solaire vers le ballon de stockage. Contrairement aux chauffe-eau fonctionnant par thermosiphon, la disposition relative du ballon

Chapitre II : Généralité Sur Les Capteurs Solaire Thermique

et du capteur est totalement libre. Ce qui représente un des avantages d'un système de chauffe-eau-solaire à circulation forcée.

Sous les climats froids, ces systèmes donnent de meilleures performances. Par contre, sous les climats chauds, les chauffe-eau solaire à circulation naturelle seront plutôt conseillés pour leur prix plus faible, leur coût de fonctionnement.

Avantage :

- Réglage de débit du fluide caloporteur
- Possibilité d'arrêter la circulation du fluide caloporteur dans le capteur
- Possibilité d'utilisation de l'antigel (éviter le risque de gèle)
- Le capteur n'est pas soumis à des fortes pressions.

Inconvénient :

- Moins d'énergie transmis à l'eau (pertes dans les échangeurs)
- Les arrêts involontaires des pompes
- Besoin d'une alimentation électrique

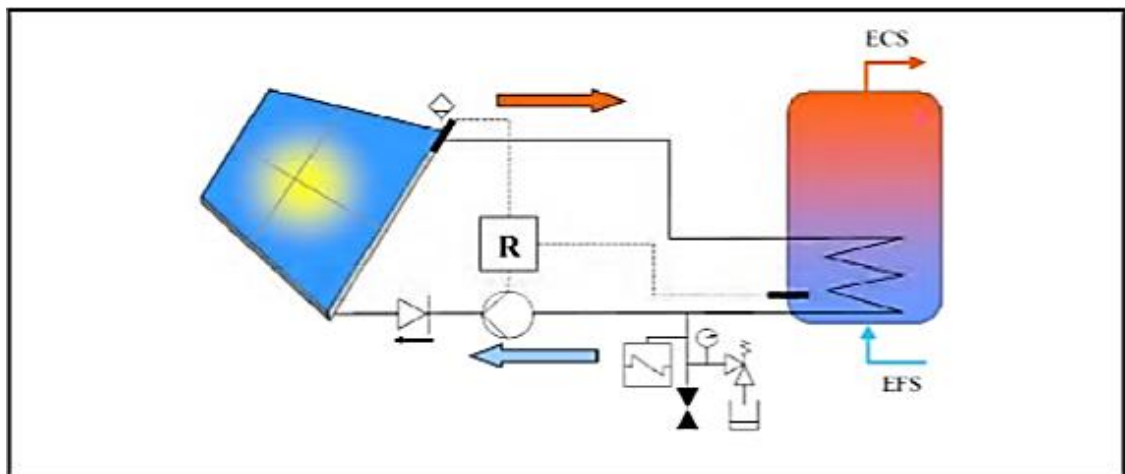


Figure II.11: Chauffe-eau solaire à circulation forcée

12. L'effet de serre

Son principe réside dans le fait qu'un matériau transparent pour le rayonnement solaire peut être opaque au rayonnement infrarouge. Le rayonnement de courtes longueurs d'onde va traverser ces matériaux, échauffer la plaque absorbante qui va rayonner dans les grandes longueurs d'ondes, c'est-à-dire dans l'infrarouge.

Ce rayonnement infrarouge, ne peuvent s'échapper, va être en partie absorbé par la couverture qui s'échauffe et en partie réfléchi vers la plaque qui elle aussi s'échauffe.

Mais bien entendu si la puissance reçue par le capteur est constante, au bout d'un certain temps, un équilibre s'installe.

Les apports solaires sont alors égaux aux pertes thermiques. Ces dernières se font principalement par rayonnement et convection de la couverture avec l'extérieur

Quand le capteur a atteint son équilibre thermique, la température de la plaque est autant plus élevée que l'effet de serre est plus prononcé. On peut s'en rendre compte avec les capteurs à double vitrage qui permettent d'atteindre des températures d'équilibre plus grandes qu'avec un simple vitrage [9]

13. Effet thermosiphon

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

14. Energie d'appoint

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

Conclusion

Les chauffe-eau solaires sont des dispositifs qui sert à produire de l'eau chaude à partir du rayonnement solaire, le capteur solaire est l'un des composant essentiel de chauffe-eau solaire son rôle principale est de capter le rayonnement solaire et le convertir sous forme de chaleur, dans le chapitre qui suit on procède à une étude thermique pour ce dernier.

1. Introduction

Les chauffe-eau solaires peuvent produire entre 60 et 100 % des besoins en eau chaude et jusqu'à 65% des besoins en chauffage d'une maison individuelle. Le résultat dépend de la région, du dimensionnement de l'installation, des technologies employées.

Ce chapitre est consacré à l'étude des échanges (radiatifs, conductifs et convectifs) au niveau de tous les composants de chauffe-eau solaire. En partant des données météorologiques et des caractéristiques thermo physiques et dynamiques de l'eau, grâce à un programme de calcul à itérations que nous avons développé, nous pouvons déterminer la distribution de température de l'eau dans le capteur ainsi que la température de l'eau dans le réservoir.

2. Description de l'installation

Le chauffe-eau solaire est constitué de :

- Capteur solaire plan avec vitrage
- Réservoir cylindrique calorifugé pour le stockage de l'eau
- Canalisations formées de tubes circulaires
- Pompe de circulation d'eau.

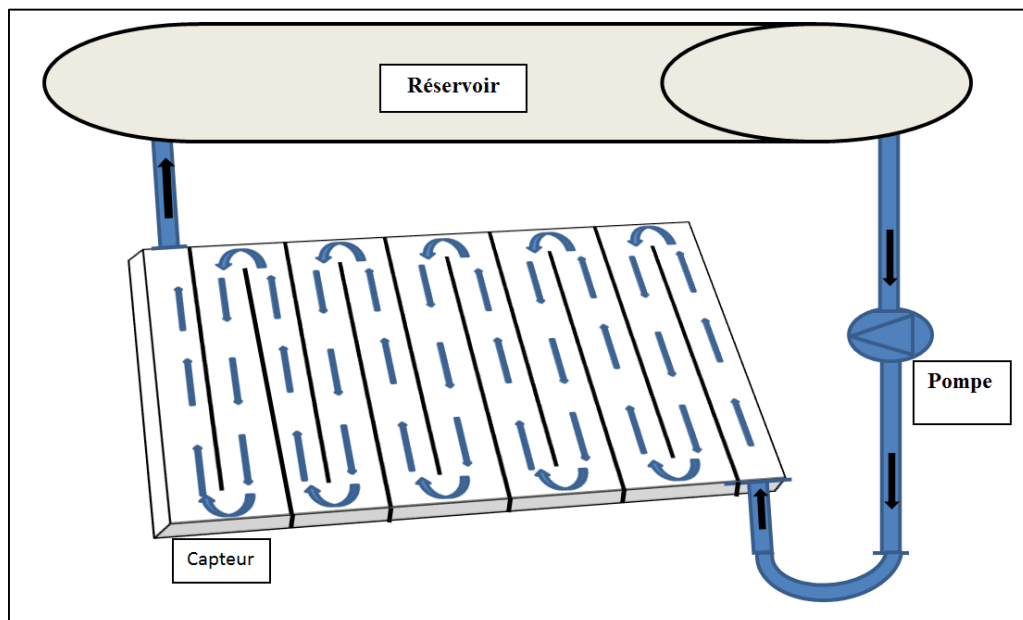


Figure III-1 : Schéma de l'installation

Chapitre III Etude thermique de l'installation

Le capteur solaire est constitué d'une vitre, un absorbeur teinté en noir et des chicanes, l'eau circule à l'intérieure sous forme d'un serpentin et en contact direct avec l'absorbeur et la vitre, la face arrière du panneau solaire est isolé à l'aide d'une plaque en bois.

3. Bilans thermiques

3.1. Bilan thermique de la vitre

- Rayonnement solaire, de courte longueur d'onde (CLO), absorbé par la vitre

$$\Phi_{sl} = \alpha_1 \cdot S \cdot G \quad (\text{III-1})$$

Avec :

α_1 : Absorptivité de la vitre.

G : éclairement solaire global.

S : surface du panneau solaire

- Rayonnement net de grande longueur d'onde (GLO) émis par la voute céleste

$$\Phi_{gv} = S \cdot \varepsilon_g \cdot \sigma (T_g^4 - T_v^4) \quad (\text{III-2})$$

Avec :

T_g : Température moyenne de la vitre.

T_v : Température de la voute céleste.

$$T_v = (T_a - 12) \quad (\text{III-3})$$

T_a : Température ambiante

ε_g : Émissivité de la vitre

- Flux de chaleur convectif échangé entre la face avant de la vitre et l'air ambiant

$$\Phi_{ga} = S \cdot h_{ga} (T_g - T_a) \quad (\text{III-4})$$

Où

h_{ga} : coefficient d'échange par convection entre la vitre et le milieu ambiant

- Rayonnement net GLO échangé entre la vitre et l'absorbeur

$$\Phi_{gp}^r = F_{pg} S \cdot \varepsilon_p \sigma (T_p^4 - T_g^4) \quad (\text{III-5})$$

Chapitre III Etude thermique de l'installation

Avec :

T_p : Température de l'absorbeur

F_{pg} : Facteur de forme vitre-absorbeur

ε_p : Émissivité de l'absorbeur

➤ Flux de chaleur convectif échangé entre la vitre et l'eau

$$\phi_{ge}^c = S \cdot h_{ge} \cdot (T_e - T_g) \quad (\text{III-6})$$

Avec :

h_{ge} : Coefficient d'échange par convection entre la vitre et l'absorbeur

T_e : Température moyenne de l'eau de capteur.

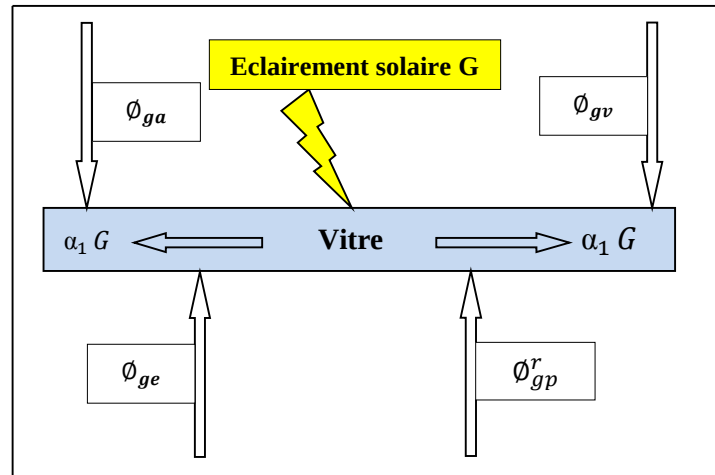


Figure III-2 : Bilan thermique de la vitre

$$\phi_{sl} + \phi_{ge}^c + \phi_{gp}^r - \phi_{gv} - \phi_{ga} = M_g \cdot C_g \cdot \frac{dT_1}{dt} \quad (\text{III-7})$$

En remplaçant les expressions des flux, données par les relations (1,2,4,5,6), on obtient :

$$\alpha_1 \cdot S \cdot G + S \cdot h_{ge} \cdot (T_e - T_g) + F_{pg} S \cdot \varepsilon \sigma (T_p^4 - T_g^4) - S \cdot \varepsilon \cdot \sigma (T_g^4 - T_v^4) - S \cdot h_{ga} (T_g - T_a) = M_g \cdot C_g \cdot \frac{dT_g}{dt}$$

$$\alpha_1 \cdot G + h_{ge} \cdot (T_e - T_g) + F_{pg} \varepsilon \cdot \sigma (T_p^4 - T_g^4) - \varepsilon \cdot \sigma (T_g^4 - T_v^4) - h_{ga} (T_g - T_a) = \left(\frac{M_g \cdot C_g}{s} \right) \frac{dT_g}{dt} \quad (\text{III-8})$$

Avec :

M_g : masse de la vitre

C_g : chaleur massique de la vitre

$$M_1 = \rho_v \cdot e_v \cdot S \quad (\text{III-9})$$

ρ_v : masse volumique de verre

e_v : épaisseur de la vitre

3.2. Bilan thermique de l'absorbeur

- **Rayonnement solaire, de courte longueur d'onde (CLO), absorbé par l'absorbeur**

$$\phi_{sl2} = \alpha_2 \tau \cdot S \cdot G \quad (\text{III-10})$$

- **Flux de chaleur convectif échangé entre l'absorbeur et l'eau**

$$\phi_{pe}^c = S \cdot h_{pe} \cdot (T_p - T_e) \quad (\text{III-11})$$

Avec :

h_{pe} : coefficient d'échange par convection entre l'absorbeur et l'eau.

T_e : température de l'eau du capteur

- **Flux de chaleur échangé à travers l'isolant de la face arrière du capteur**

$$\phi_{ia} = K_{ia} S \cdot (T_p - T_a) \quad (\text{III-12})$$

Avec :

K_{ia} : Conductance globale.

- **Le bilan thermique effectué sur un élément de surface dS de l'absorbeur s'exprime par**

$$\phi_{sl2} - \phi_{gp}^r - \phi_{pe}^c - \phi_{ia} = M_p \cdot C_p \cdot \frac{dT_p}{dt} \quad (\text{III-13})$$

Ce qui conduit, tenant compte des expressions (5,10,11,12), à la relation suivante

$$\alpha_2 \tau \cdot S \cdot G - F_{pg} S \cdot \varepsilon \delta (T_p^4 - T_g^4) - S \cdot h_{pe} \cdot (T_p - T_e) - K_{ia} S \cdot (T_p - T_a) = M_p \cdot C_p \cdot \frac{dT_p}{dt}$$

Laquelle devient :

$$\alpha_2 \tau \cdot G - F_{pg} \cdot \varepsilon \sigma (T_p^4 - T_g^4) - h_{pe} \cdot (T_p - T_e) - K_{ia} (T_p - T_a) = \left(\frac{M_p \cdot C_p}{s} \right) \frac{dT_p}{dt} \quad (\text{III-14})$$

Où :

M_p : masse de l'absorbeur

C_p : chaleur massique de l'absorbeur

$$M_p = \rho_p \cdot e_p \cdot S \quad (\text{III-15})$$

ρ_p : masse volumique de l'absorbeur

3.3. Bilan thermique de l'eau du capteur

- La variation d'énergie interne de l'eau s'exprime par

$$\dot{\phi}_e^c = \dot{m} C_e dT_e \quad (\text{III-16})$$

- L'eau en contact de la vitre, échange un flux de chaleur par convection qui vaut

$$\dot{\phi}_{ge}^c = S \cdot h_{ge} \cdot (T_g - T_e) \quad (\text{III-17})$$

Par ailleurs, l'absorbeur échange par convection un flux de chaleur avec l'eau donné par la relation (11).

La variation d'énergie interne de l'eau correspond alors à :

$$\dot{\phi}_e - \dot{\phi}_{ge}^c - \dot{\phi}_{pe}^c = -M_e \cdot C_e \cdot \frac{dT_e}{dt}$$

Laquelle devient :

$$\dot{m} C_e dT_e - S \cdot h_{ge} \cdot (T_g - T_e) - S \cdot h_{pe} \cdot (T_p - T_e) = -M_e \cdot C_e \cdot \frac{dT_e}{dt} \quad (\text{III-18})$$

Avec

C_e : chaleur massique de l'eau

M_e : masse de l'eau

$$M_e = \rho_{eau} \cdot S_{droite} \cdot dz \quad (\text{III-19})$$

3.4. Bilan thermique de réservoir

- Flux apporté par l'eau du réservoir

$$\dot{\phi}_{r1} = \dot{m} C_m (T_S - T_R) \quad (\text{III-20})$$

Avec

T_S : température de l'eau entrant au réservoir ou sortie de capteur

T_R : température de l'eau à la sortie de réservoir

C_m : chaleur massique de l'eau à la température $\frac{T_S + T_R}{2}$

- **Flux échangé par conduction entre l'eau du réservoir et le milieu ambiant à travers la face latérale de réservoir**

$$\phi_{r2} = S_r \cdot K_{r2} \cdot (T_r - T_a) \quad (\text{III-21})$$

Avec

K_{r2} : coefficient d'échange par conduction à travers la face latérale du réservoir

- **Flux échangé par conduction entre l'eau du réservoir et le milieu ambiant à travers les deux faces planes du réservoir**

$$\phi_{r3} = 2S'_2 \cdot K_{r3} \cdot (T_r - T_a) \quad (\text{III-22})$$

Avec

K_{r3} : coefficient d'échange par conduction à travers deux faces planes du réservoir

$$\phi_{r1} - \phi_{r2} - \phi_{r3} = M_r \cdot C_r \cdot \frac{dT_r}{dt} \quad (\text{III-23})$$

Donc

$$\dot{m} C_m (T_s - T_r) - S_r \cdot K_{r2} \cdot (T_r - T_a) - 2S'_2 \cdot K_{r3} \cdot (T_r - T_a) = M_r \cdot C_r \cdot \frac{dT_r}{dt} \quad (\text{III-24})$$

4. Détermination des coefficients d'échange thermique

Pour déterminer ces coefficients on utilise les relations suivantes :

- Conductance thermique à travers l'isolant

$$K_{ia} = \frac{1}{\frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{ia}}} \quad (\text{III-25})$$

Avec :

λ_i : conductivité thermique de l'isolant

e_i : épaisseur de l'isolant

- Conduction thermique à travers la couche isolante du réservoir
- Pour la face latérale

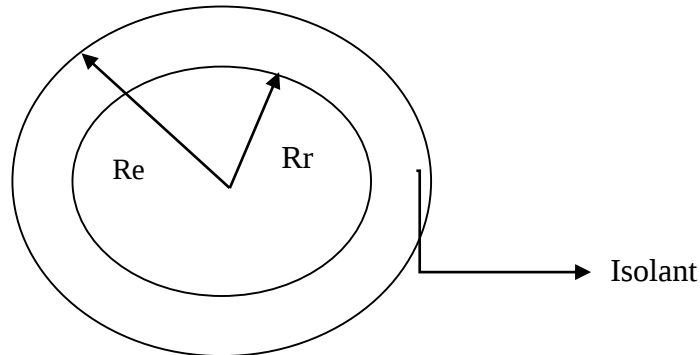


Figure III-3 : Face latérale du réservoir

Le coefficient d'échange est donné par

$$K_{r2} = \frac{\ln\left(\frac{Re}{Rr}\right)}{2.\pi.\lambda_i.L_r} \quad (\text{III-26})$$

- Pour les deux faces planes :

$$K_{r3} = \frac{\lambda_i}{e_r} \quad (\text{III-27})$$

Avec :

e_r : épaisseur de la couche isolante des deux faces.

➤ Convection entre la vitre et le milieu ambiant

Les transferts thermiques par convection dû au vent interviennent dans le transfert à l'avant et à l'arrière du capteur. Les corrélations empiriques donnant les transferts convectifs entre une surface et l'air ambiant extérieur, dépend le plus souvent, de la vitesse de vent. la corrélation (28) qui est souvent utilisée pour les capteurs solaire plans [11].

$$\begin{cases} h_v = 5,7 + 3.8V_{\text{vent}} & \text{pour } V_{\text{vent}} < 5\text{m/s} \\ 6,47 + V_{\text{vent}}^{0.78} & \text{pour } V_{\text{vent}} \geq 5\text{m/s} \end{cases} \quad (\text{III-28})$$

➤ Coefficient de transfert convectif entre la vitre ou l'absorbeur et l'eau

Le coefficient de transfert thermique en convection forcée dépend du nombre de **Nusselt** N_{uf} , le diamètre hydraulique D_H , et de la conductivité thermique du fluide λ_f .

$$N_{uf} = \frac{h_f \times D_h}{\lambda_f}$$

$$D_H = \frac{4 \times A_h}{P}$$

Chapitre III Etude thermique de l'installation

A_h : section de passage de fluide

P : périmètre de contact fluide/paroi

Pour pouvoir déterminer le nombre de **Nusselt** N_{uf} , il est nécessaire de connaître le régime de l'écoulement du fluide caloporteur qui est caractérisé par le nombre **Reynolds** (R_e), la caractéristique caractérisée par le nombre de P_r [10].

En convection forcée, soit pour un nombre de Reynolds de l'eau (tel que $R_e > 2300$), le nombre de Nusselt moyen est obtenu à partir de la corrélation empirique (29)

$$N_{uf} = 0.023 \times R_e^{0.8} \times P_r^{0.4} \quad (\text{III-29})$$

Pour un écoulement laminaire (tel que $R_e < 2300$), le nombre de **nusselt** moyen est donné par l'équation suivante :

$$N_{uf} = 4,864 \quad (\text{III-30})$$

Où :

$$R_e = \frac{\rho_f \times V_f \times D_H}{\mu_f}$$

$$P_r = \frac{C_p \times \mu_f}{\lambda_f}$$

P_r et R_e sont les corrélations de **reynolds** et **prandtl**.

ρ_f, V_f, μ_f , sont respectivement la masse volumique du fluide, la vitesse de fluide caloporteur, la viscosité dynamique de fluide

5. Système d'équations obtenu

Les différents bilans thermiques effectués permettent d'aboutir au système d'équations suivant :

$$\alpha_1 \cdot G + h_{ge} \cdot (T_e - T_g) + F_{pg} \varepsilon_g \cdot \sigma (\varepsilon_p T_p^4 - T_g^4) - \varepsilon_g \cdot \sigma (T_g^4 - T_v^4) - h_{ga} (T_g - T_a) = \left(\frac{M_g \cdot C_g}{s} \right) \frac{dT_g}{dt}$$

$$\alpha_2 \tau \cdot G - F_{pg} S \cdot \varepsilon_p \sigma (T_p^4 - \varepsilon_g T_g^4) - S \cdot h_{pe} \cdot (T_p - T_e) - K_{ia} (T_p - T_a) = \left(\frac{M_p \cdot C_p}{s} \right) \frac{dT_p}{dt}$$

$$\dot{m} C_3 dT_e - S \cdot h_e \cdot (T_g - T_e) - S \cdot h_{pe} \cdot (T_p - T_e) = -M_e \cdot C_e \cdot \frac{dT_e}{dt}$$

$$\dot{m} C_m (T_s - T_r) - S_r \cdot K_{r2} \cdot (T_r - T_a) - 2S'_2 \cdot K_{r3} \cdot (T_r - T_a) = M_r \cdot C_r \cdot \frac{dT_r}{dt}$$

Les équations obtenues étant non linéaires, la résolution de ce système s'effectuera par une méthode numérique.

6. Résolutions de système d'équation

6.1. Discrétisation des équations

$$\frac{M_g C_g}{S} \cdot \frac{T_g^{t+dt} - T_g^t}{\Delta t} = \alpha_1 G + h_{ge} (T_e^{t+dt} - T_g^{t+dt}) + F_{pg} \varepsilon \sigma (\varepsilon_p T_p^{4t+dt} - T_g^{4t+dt}) + \varepsilon \sigma (T_v^4 - T_g^{4t+dt}) + h_{ga} (T_a - T_g^{t+dt})$$

$$\frac{M_p C_p}{S} \cdot \frac{T_p^{t+dt} - T_p^t}{\Delta t} = \alpha_2 \tau G - F_{pg} \varepsilon \sigma (T_p^{4t+dt} - T_g^{4t+dt}) - h_{pe} (T_p^{t+dt} - T_e^{t+dt}) - k_{ia} (T_p^{t+dt} - T_a)$$

$$-\frac{M_e C_e}{S} \cdot \frac{T_{ei}^{t+dt} - T_{ei}^t}{\Delta t} = m C_e (T_{ei+1}^{t+dt} - T_{ei-1}^{t+dt}) - h_{ge} (T_{gi}^{t+dt} - T_{ei}^{t+dt}) - h_{pe} (T_{pi}^{t+dt} - T_{ei}^{t+dt})$$

$$M_r C_e \frac{T_r^{t+dt} - T_r^t}{\Delta t} = m C_e (T_S^{t+dt} - T_E^{t+dt}) + S_r K_{r2} (T_a - T_r^{t+dt}) + 2 S'_2 K_{r3} (T_a - T_r^{t+dt})$$

6.2. Résolution du système des équations discrétisées

$$T_{gi}^{t+dt} = A + B T_{ei}^{t+dt} + C T_{pi}^{4t+dt} + D T_{gi}^{4t+dt} + E T_{gi}^t$$

$$T_{pi}^{t+dt} = G + H T_{ei}^{t+dt} + I T_{gi}^{4t+dt} + J T_{pi}^{4t+dt} + K T_{pi}^t$$

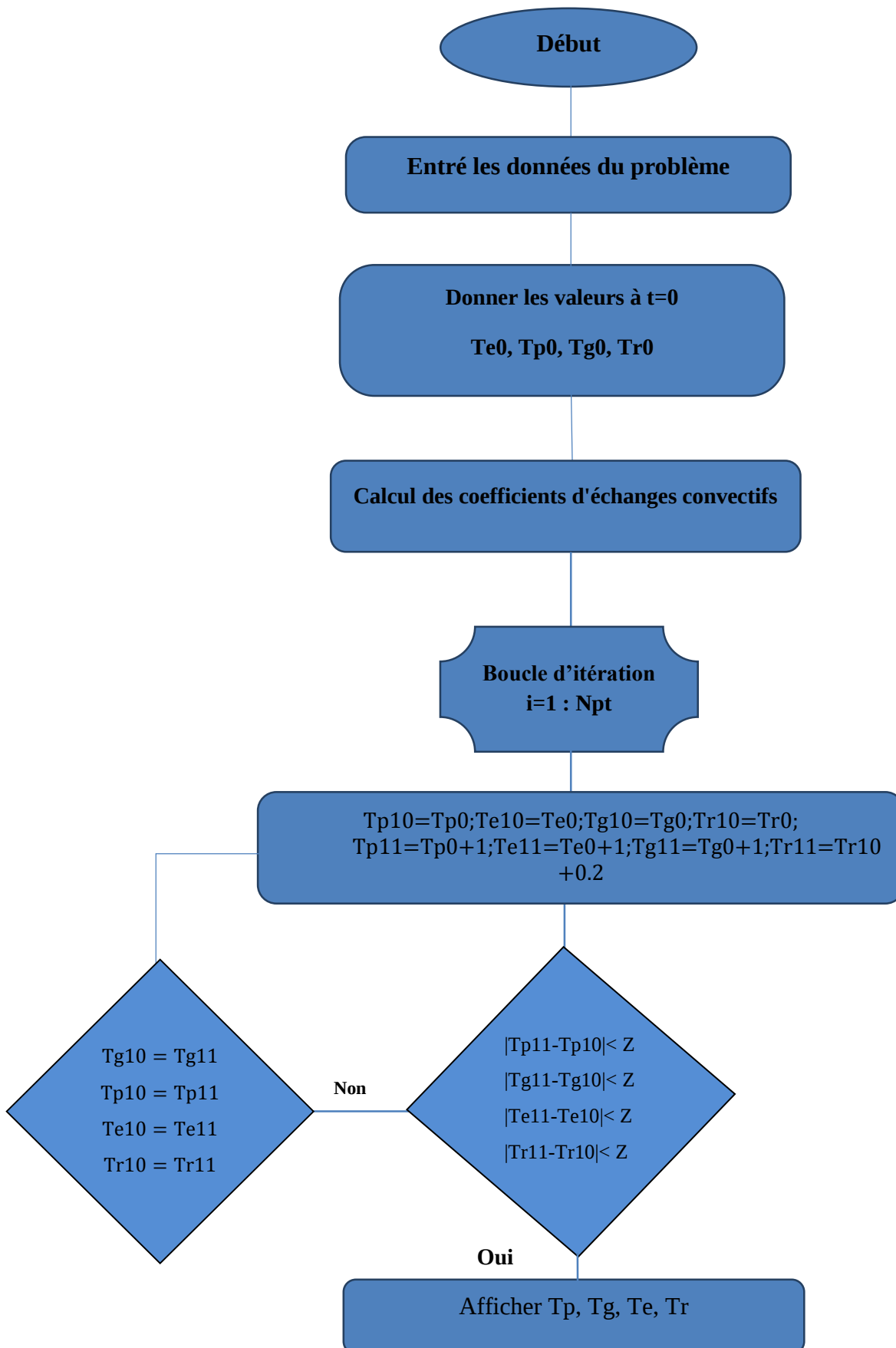
$$T_{ei}^{t+dt} + R (T_{ei+1}^{t+dt} - T_{ei-1}^{t+dt}) = N T_{ei}^t + L T_{gi}^{t+dt} + M T_{pi}^{t+dt}$$

$$T_r^{t+dt} = P + Q T_r^t + O T_S^{t+dt}$$

Avec :

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\alpha_1 G + \varepsilon \sigma T_V^4 + h_{ga} T_a}{\frac{M_g C_g}{S \Delta t} + h_{ge} + h_{ga}} ; B = \frac{h_{ge}}{\frac{M_g C_g}{S \Delta t} + h_{ge} + h_{ga}} ; C = \frac{F_{gp} \varepsilon_g \sigma \varepsilon_p}{\frac{M_g C_g}{S \Delta t} + h_{ge} + h_{ga}} ; D = - \frac{F_{gp} \varepsilon \sigma - \varepsilon \sigma}{\frac{M_g C_g}{S \Delta t} + h_{ge} + h_{ga}} \\
 E &= \frac{\frac{M_g C_g}{S \Delta t}}{\frac{M_g C_g}{S \Delta t} + h_{ge} + h_{ga}} ; G = \frac{\alpha_2 \tau G + K_{ai} T_a^{t+dt}}{\frac{M_p C_p}{S \Delta t} + h_{pe} + K_{ai}} ; K = \frac{\frac{M_p C_p}{S \Delta t}}{\frac{M_p C_p}{S \Delta t} + h_{pe} + K_{ai}} ; H = \frac{h_{pe}}{\frac{M_p C_p}{S \Delta t} + h_{pe} + K_{ai}} \\
 I &= \frac{F_{pg} \varepsilon_p \varepsilon_g \sigma}{\frac{M_p C_p}{S \Delta t} + h_{pe} + K_{ai}} ; J = \frac{-F_{gp} \varepsilon_p \sigma}{\frac{M_p C_p}{S \Delta t} + h_{pe} + K_{ai}} ; L = \frac{Sh_{ge}}{\frac{M_e C_e}{\Delta t} + Sh_{ge} + Sh_{pe}} ; M = \frac{Sh_{pe}}{\frac{M_e C_e}{\Delta t} + Sh_{ge} + Sh_{pe}} \\
 N &= \frac{\frac{M_e C_e}{\Delta t}}{\frac{M_e C_e}{\Delta t} + Sh_{ge} + Sh_{pe}} ; O = \frac{m C_e}{\frac{M_r C_e}{\Delta t} + m C_e + S_r K_{r2} + 2 S_2 K_{r3}} ; P = \frac{T_a (S_r K_{r2} + 2 S_2 K_{r3})}{\frac{M_r C_e}{\Delta t} + m C_e + S_r K_{r2} + 2 S_2 K_{r3}} \\
 Q &= \frac{\frac{M_r C_e}{\Delta t}}{\frac{M_r C_e}{\Delta t} + m C_e + S_r K_{r2} + 2 S_2 K_{r3}} ; R = \frac{m C_e}{\frac{M_e C_e}{\Delta t} + Sh_{ge} + Sh_{pe}}
 \end{aligned}$$

6.3. Organigramme de calcul



Chapitre III Etude thermique de l'installation

Nous avons établi un programme sous **MATLAB** pour pouvoir calculer les températures de chaque composant du capteur ainsi le réservoir, le programme est basé sur l'enchaînement de calcul précédent, dont les étapes de l'algorithme sont résumées comme suit :

❖ Etape 1 :

Dans cette première étape, nous avons introduit toutes les constantes des équations qui régissent notre problème et qui ne dépend pas des températures du système. Il s'agit de :

- La géométrie du capteur (largeur, longueur et hauteur)
- Géométrie des chicanes (longueur, épaisseur, hauteur)
- Les propriétés physiques des composant du capteur et le réservoir
- Les constantes et les valeurs de références.

❖ Etape 2 :

Dans cette étape nous avons entrés les données métrologiques.

❖ Etape 3 :

Dans la troisième étape nous avons estimé un champ des températures pour initialisé les calculs, il s'agit de :

- Température du verre
- Température de la plaque absorbante
- Température de l'eau du capteur
- Température du l'eau de réservoir

❖ Etape 4 :

Cette étape consiste à :

La détermination de du régime d'écoulement du fluide caloporteur :

- Le calcul de la section de passage d'eau
- L'évaluation de diamètre hydraulique DH
- L'évaluation des corrélations de Reynolds et Prandtl
- L'évaluation de corrélation du nombre de NUSSELT

Au calcul des coefficient d'échange thermique tels que :

- Les coefficients de transfert radiatif et conductifs
- Coefficient d'échange convectif du au vent
- Coefficient d'échange convectif entre la vitre ou l'absorbeur et l'eau
- Les coefficients des pertes thermique pour le réservoir et l'arrière du capteur

❖ Etape 5 :

Cette étape consiste à évaluer les températures (T_g, T_e, T_p, T_r) à partir d'une procédure itérative

❖ Etape 6 :

Cette étape consiste à tester la convergence des températures ; ce test est considéré positif si la différence maximale entre le champ de température de l'itération courante et celle de l'itération précédente est inférieure à une tolérance fixée au début

❖ Etape 7 :

Dans cette dernière étape, les résultats attendus sont visualisés par l'intermédiaire de tracés des courbes.

Les grandeurs visualisées sont notamment :

- Les températures T_r et T_s , en °C

Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la présentation de l'installation au début ensuite nous avons fait une analyse thermique pour ce système, pour cela nous avons mis en équation les transferts de chaleur dans un capteur solaire thermique en utilisant l'eau comme fluide caloporteur qu'est en contact direct avec l'absorbeur et la vitre.

Ceci nous a conduit à un système d'équation non linéaire, la résolution de ce système est effectuée par une méthode numérique à l'aide d'un programme de calcul élaboré sous Matlab, les résultats obtenus seront présentés dans le chapitre suivant.

1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation des différents résultats obtenus de la simulation, ces résultats concernent la variation de la température au cours du temps des différents composants du capteur et le réservoir, ainsi que les caractéristiques de ces derniers.

2. Description du capteur

On a procédé à la conception d'un capteur solaire thermique. Les matériaux utilisés sont présentés comme suit :

- Une plaque en métal teinté en noir de surface 1 m^2
- Une plaque en bois
- Chicanes en plexiglas de dimension $(0.9 \times 0.005 \times 0.01) \text{ (m)}$
- Une plaque en verre
- Une colle



Figure IV.1 : Absorbeur



Figure IV.2 : colle



Figure IV.3 : Illustration des chicanes et leur mode de fixation



Figure IV.4 : Panneau solaire thermique

3. Présentations des propriétés du capteur solaire thermique

propriété	valeurs	Unité
La vitre		
Emissivité	0.93	-
Transitivité	0.86	-
Absorptivité	0.15	-
Chaleur spécifique	500	[J/kg.k]
Epaisseur	0.005	[m ²]
Conductivité	1	[W/m ² .k]
Masse volumique	2530	[Kg/m ³]
La plaque absorbante		
Emissivité	0.87	-
Absorptivité	0.95	-

Chapitre IV Résultats et discussion

Chaleur spécifique	50	[J/kg.k]
Epaisseur	0.0012	[m ²]
Conductivité	250	[W/m ² .k]
Masse volumique	2700	[Kg/m ³]
L'eau		
Chaleur spécifique	4180	[J/kg.k]
Conductivité	0.6	[W/m ² .k]
Masse volumique	1000	[Kg/m ³]

Tableaux IV.1. Propriété du capteur étudié

4. Les données climatiques utilisées

Les conditions météorologiques, que nous avons adoptées prennent en compte les paramètres suivants :

Vitesse du vent	1	[m/s]
Température ambiante	30	[°C]
Rayonnement solaire (RG)	1000 ; 800 ; 600	[W/m ²]

Tableaux IV.2. Les conditions météorologiques

5. Evolution de la température

Le code établi nous permet de suivre l'évolution de la température des différents composant du dispositif étudié, plaque absorbante, vitre, fluide caloporteur.

Notons que la température du fluide initial est de 30(°C) et un débit de 0.014 (Kg/s),

Le rayonnement solaire est constant pendant deux heures et demie.

Les différentes températures présentées sont :

- Température de l'eau à la sortie du capteur T_s
- Température du l'eau du réservoir T_r

5.1.Evolution de la température du l'eau pour différents volumes de réservoir en fonction de temps

a- Pour un réservoir de stockage de 100L

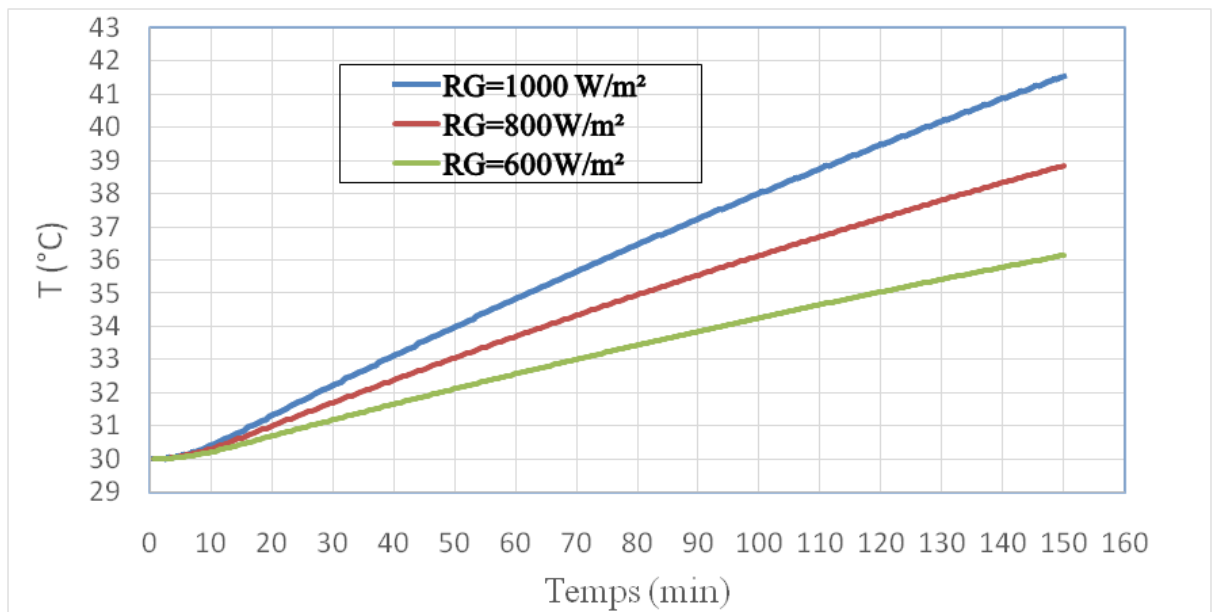


Figure IV.5.Évolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

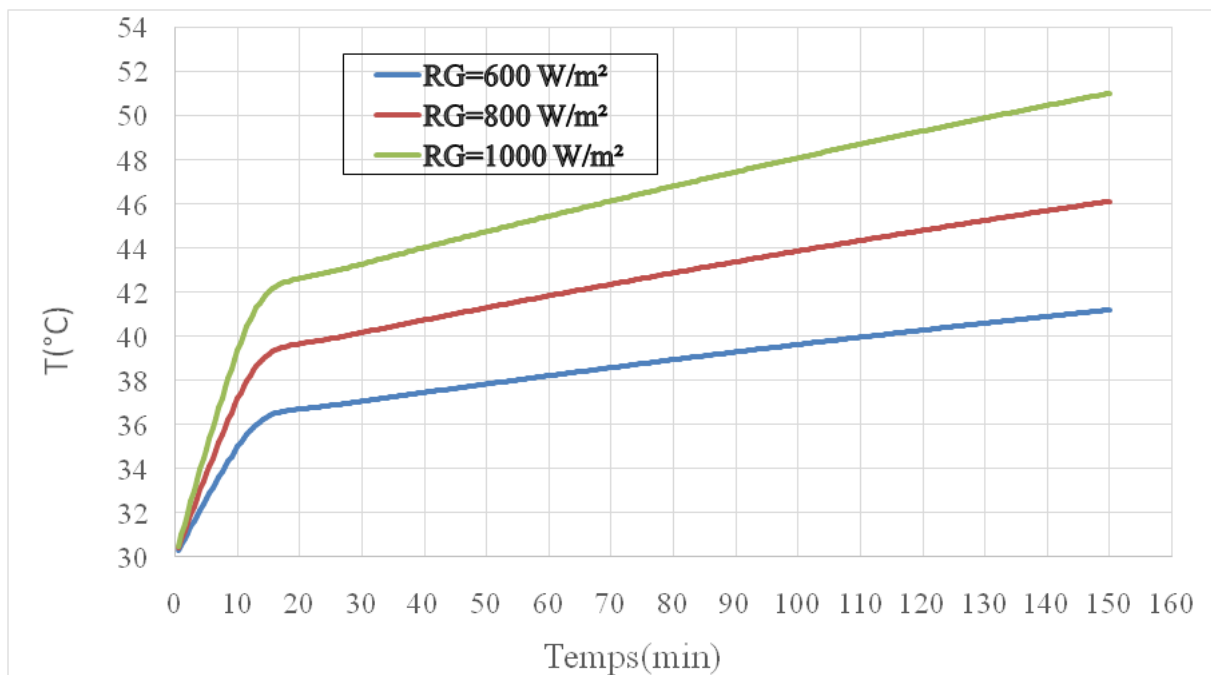


Figure IV.6Évolution de température de l'eau à la sortie de capteur au cours de temps

b- Pour un réservoir de stockage de 75 L

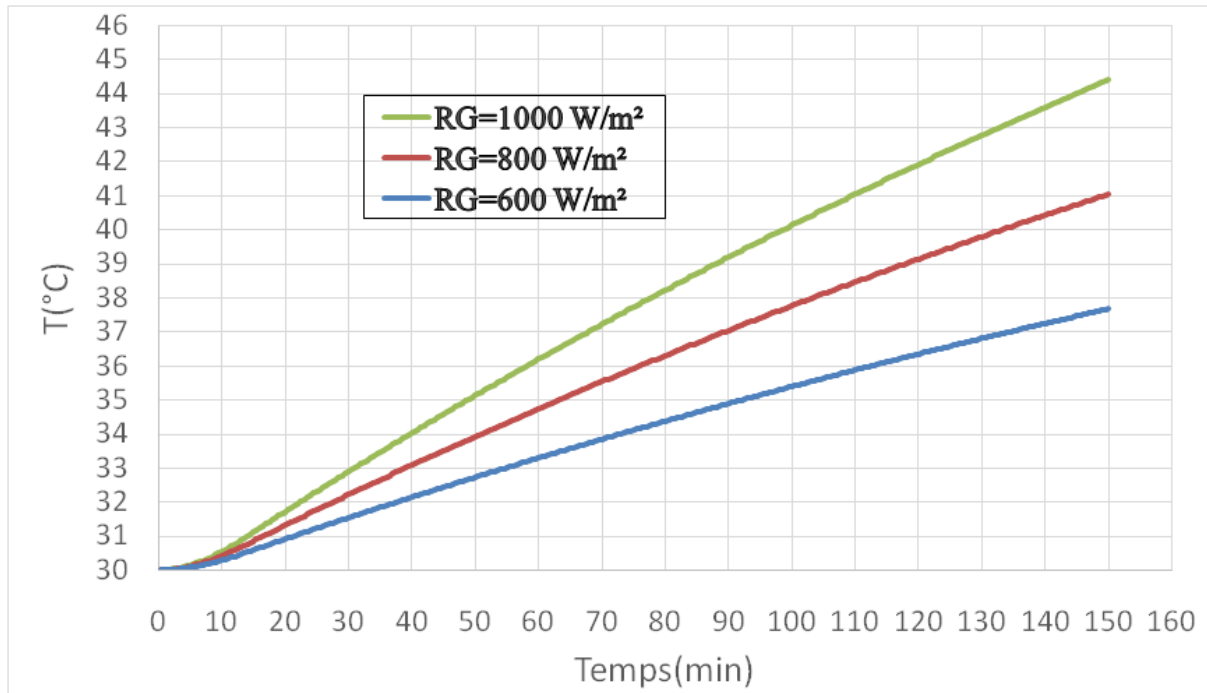


Figure IV.7 : Évolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

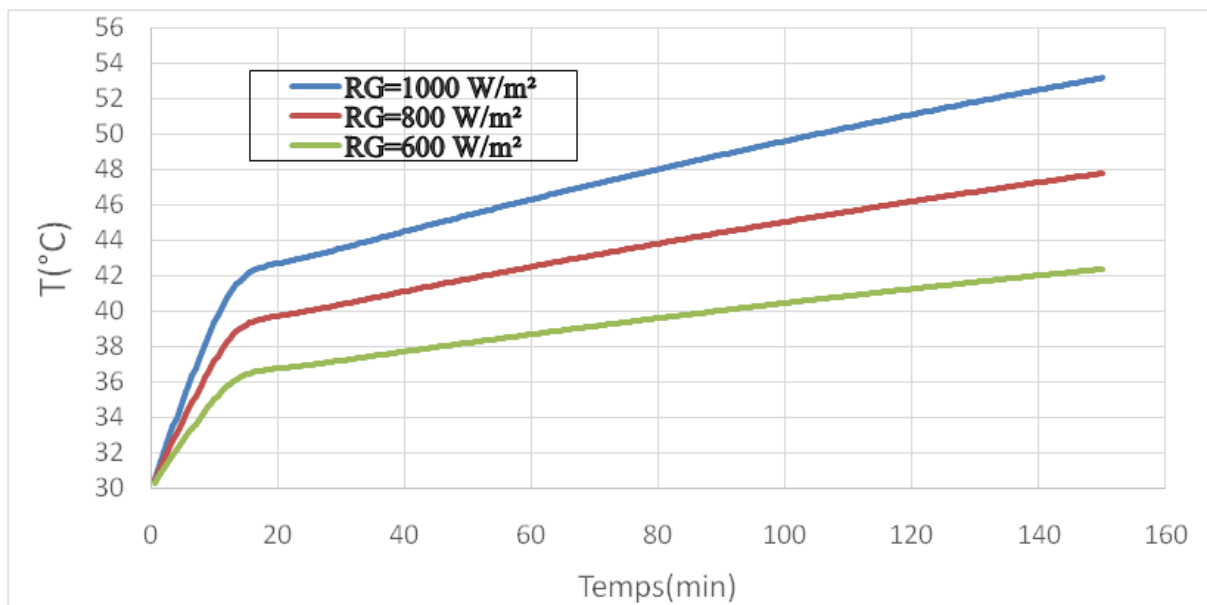


Figure IV.8 : Évolution au cours du temps de la température de l'eau à la sortie du capteur

c- Pour un réservoir de stockage de 50 L

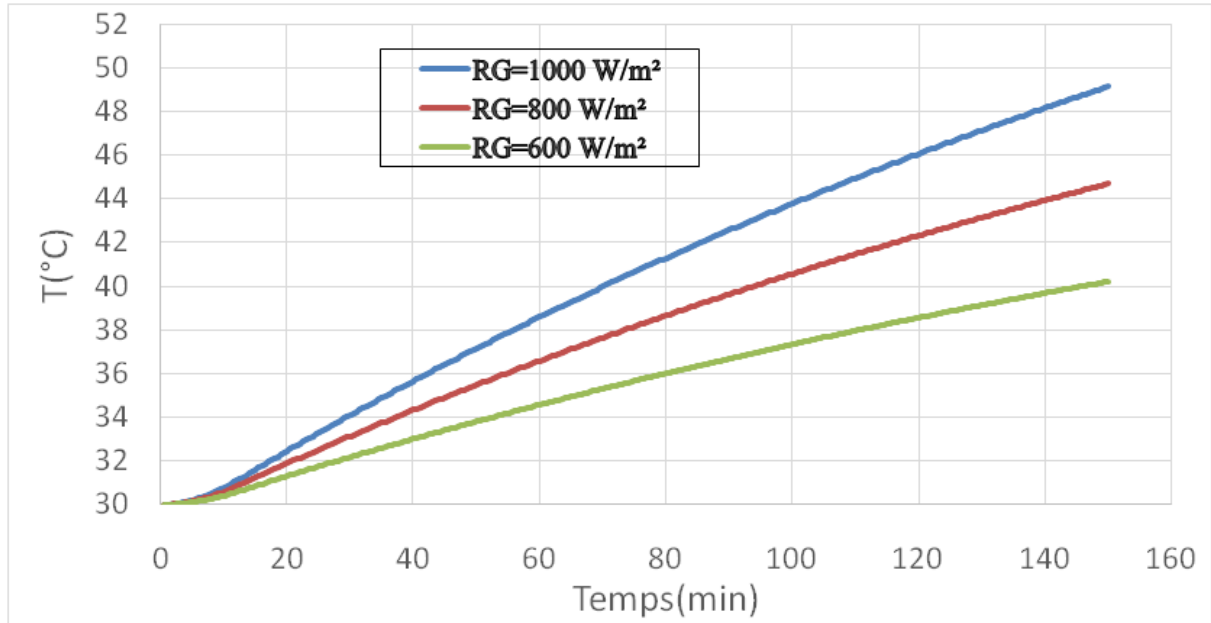


Figure IV.9. Évolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

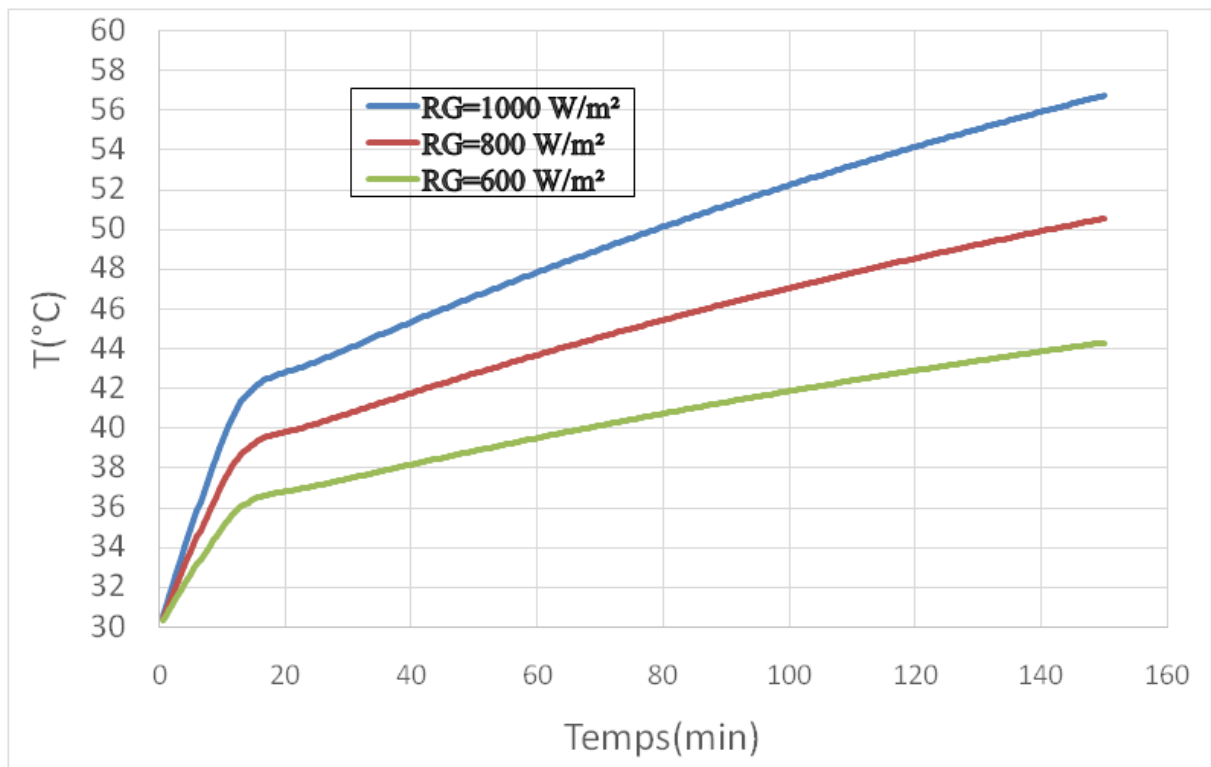


Figure IV.10. Évolution au cours du temps de la température de l'eau à la sortie du capteur

5.2.Variation de la température de l'eau en fonction de volume d'eau

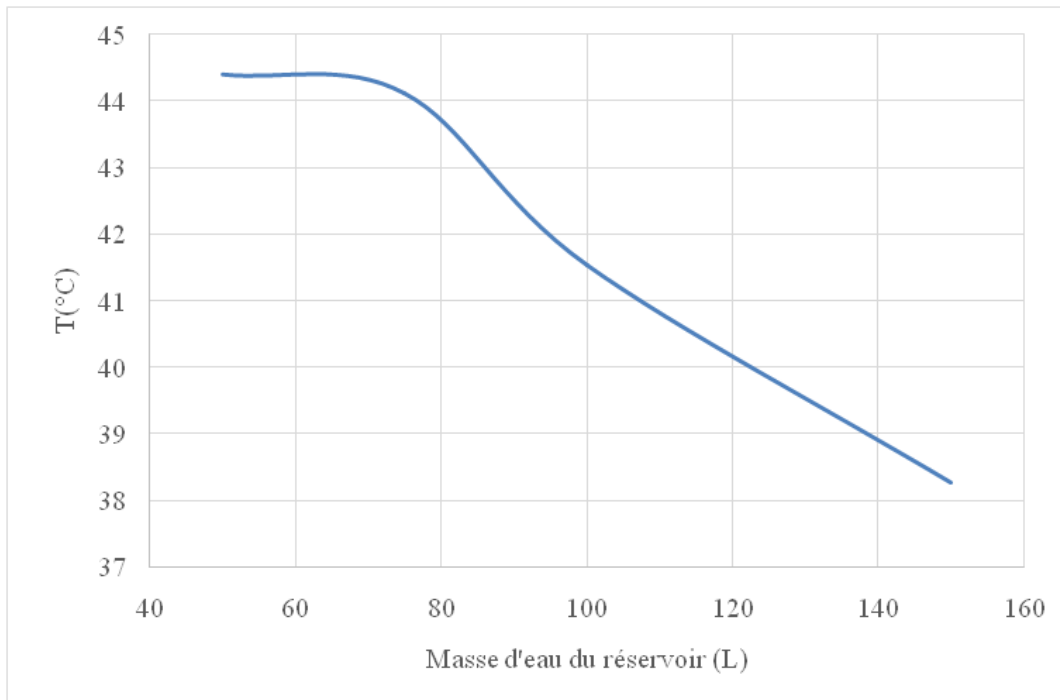


Figure IV.11 : Variation de la température de l'eau du réservoir en fonction de volume d'eau stockée

5.3.Variation de la température de l'eau en fonction du débit

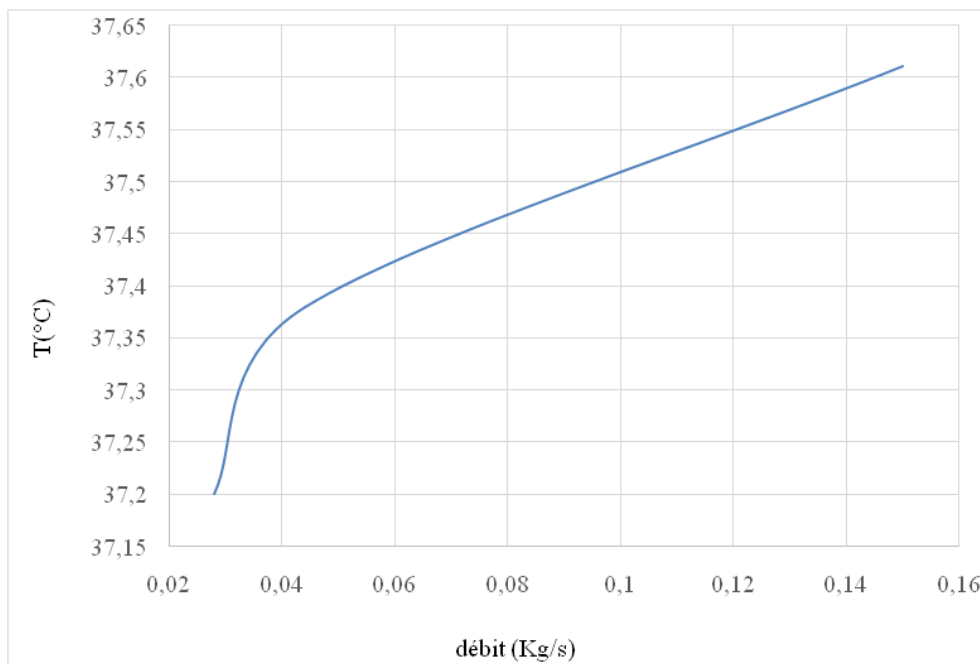


Figure IV.12. Variation de la température de l'eau de réservoir en fonction de débit

Chapitre IV Résultats et discussion

Le rayonnement solaire est l'un des paramètres qui influent sur le rendement d'un panneau solaire. Afin d'examiner le comportement de la température de l'eau en fonction de rayonnement solaire au cours du temps, nous avons fait varier le rayonnement comme suite : 1000 w/m^2 ; 800 W/m^2 ; 600 w/m^2

Les figures (5et6) montrent la variation de la température de l'eau au cours du temps. Nous remarquons que l'augmentation du rayonnement solaire conduit à une augmentation de la température de l'eau, pour un même volume d'eau.

Les températures maximales atteintes pour $\text{RG}=1000 \text{ w/m}^2$ est de 41.5°C

Aussi pour bien choisir un volume de l'eau du réservoir à utiliser nous avons examiné le comportement de la température de l'eau en fonction du temps on maintenant le rayonnement solaire constant, pour différent volume d'eau. Les figures (7et8), ont été obtenu pour un volume d'eau de 75 L et les figures (9et10), pour un volume d'eau de 50L

Nous remarquons que l'augmentation de volume d'eau conduit à la diminution de température d'eau.

Les températures maximales atteintes

- Réservoir de 75 L : 44.5°C
- Réservoir de 50 L : 49°C

La figure (11), donne l'évolution de la température de l'eau du réservoir en fonction de son volume. Sous un rayonnement de 1000 W/m^2 la température de l'eau stockée passe de 45°C à 38°C en augmentant ce volume d'eau de 50 à 150 litre.

L'évolution de température de l'eau par rapport au débit est exprimée par la figure (12). Nous remarquons que lorsque le débit augment, une légère variation de la température de l'eau apparaitre

6. Distribution du champ de température dans le capteur

- Pour un débit de 0.014kg/s, rayonnement solaire de 1000W/m² et un réservoir de 100L :

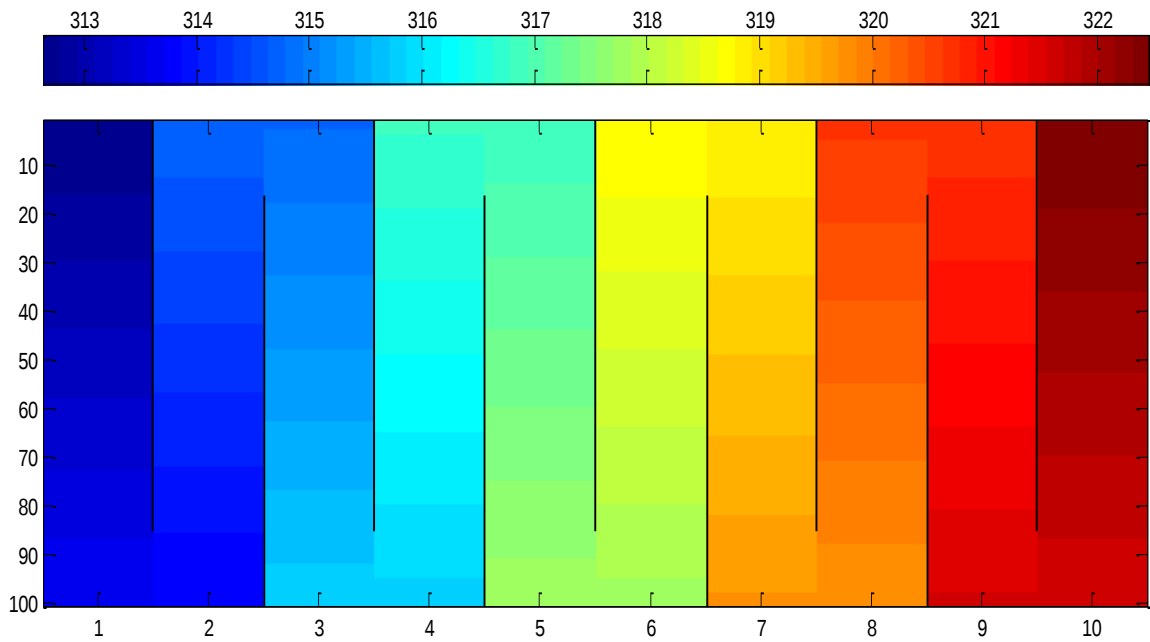


Figure IV.13 : Distribution de la température de l'eau dans le capteur

- Pour un débit de 0.014 kg/s, rayonnement solaire de 1000W/m² et un réservoir de 50 L

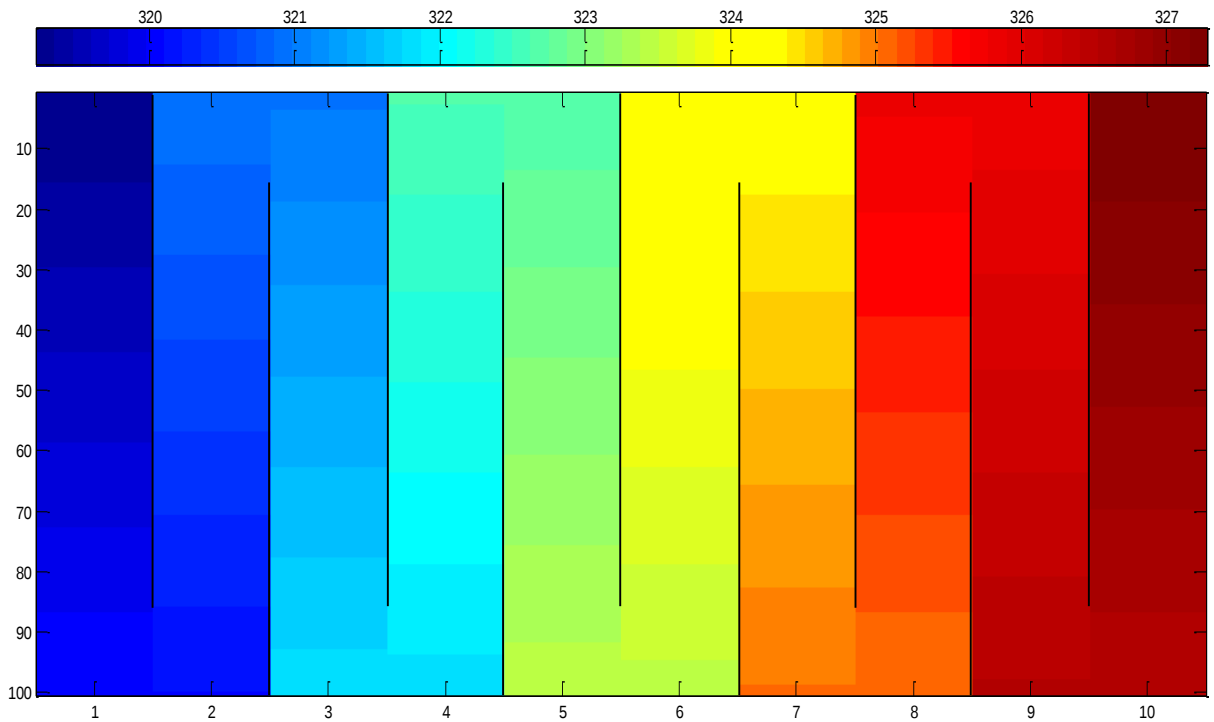


Figure IV.14 : Distribution de la température de l'eau dans le capteur

Les figures (13et 14) représentent la distribution de température à l'intérieur du capteur, le programme établi nous permet de représenter la distribution de température de l'eau en utilisant deux volumes. L'eau se réchauffe de l'entrée vers la sortie en puisant la chaleur emmagasinée par l'absorbeur

Conclusion :

D'après les résultats discutés dans ce chapitre on peut considérer qu'une installation comporte un capteur de 1 m² et un volume d'eau de 50 L est l'idéal pour satisfaire les besoins en eau chaude pour une personne car la température atteinte au bout de deux heures et demie est 49 °C, pour satisfaire toute une famille il faut augmenter ces deux paramètres (surface du capteur et volume du réservoir).

Les chauffe-eau solaire sont des dispositifs qui permettent de produire de l'eau chaude par la conversion de rayonnement solaire en chaleur.

Une revue bibliographique présentant les différents capteurs solaires thermique et chauffe-eau solaire a été effectuée

Ce mémoire nous a permis de mettre en place un outil théorique permettant d'étudier le transfert de la chaleur dans un capteur solaire thermique avec l'eau en contact direct avec l'absorbeur et la vitre.

La méthode des différences finies a été adoptée pour résoudre numériquement les équations régissant les transferts. Les résultats de la simulation numérique nous ont permis d'analyser la distribution de la température de l'eau dans les différents composants de l'installation et d'examiner les performances du capteur étudié.

Comme perspective à ce travail nous proposons des essais afin de caractériser ce chauffe-eau solaire.

- [1] : **BOUCHOUICHA Kada. THESE.** Modélisation Multi spectrale des Images Satellitaire. UNIV-ORAN.2016/2017
- [2] : **NEBBALI Rezki, KECILI Idir.** Article. Inclinaison Optimale D'un Panneau Solaire.LEMM. UMMTO
- [3] : **D. C. Andrew, D. S. Jeffrey, J. R. Simon, D. S. Marvin,** A Model For Simulating The Performance Of Shallow Pond As Supplemental Heat Rejecter With Closed-Loop Ground-Source Heat Pump Systems, AMERICAN SOCIETY OF HEATING. Vol 106 Part 2 (2000) pp107-12
- [4] : **MEMOIRE FIN D'ETUDE.** Etude Et Réalisation D'un Capteur Solaire A Air Ecologique. UMMTO. 2016/2017
- [5] : **B. YOUNSI.** MEMOIRE FIN D'ETUDE. Bilan Thermique D'un Chauffe-Eau Solaire.UMMTO
- [6] : **Aghilas BRAHIMI.** MEMOIRE MASTER 2. Etude De Performances D'un Capteur Solaire Plan A Eau. Faculté Des Sciences Et Technologies Nancy 1 Université De Lorraine
- [7] : **BOUCHETIBA.H.** MEMOIRE MASTER 2. Modélisation D'un Ballon De Stockage Thermique. Université De Constantine 1 Département De Physique 2014
- [8] : **DRIF Idir.** MEMOIRE DE FIN D'ETUDE. Bilan thermique d'un chauffe-eau solaire. UMMTO 2012/2013
- [9] : **jacques BERNARD.** Energie solaire calcul et optimisation.2004
- [10] : **JEAN-FRANÇOIS SACADURA.** Initiation aux transfert thermiques .6^{eme} éditions 2000
- [11] : **J.P. HOLMAN.** Heath Transfer . Tenth Edition.