

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

N° PhENR08/2019



DOMAINE : Sciences de la matière

FILIERE : Physique

OPTION : Physique Energétique
et Energies Renouvelables

Physique Energétique et Energies Renouvelables

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Réalisé par:

ELGUERRI Houria

BERROUBI Ahlem

Intitulé

Etude numérique et expérimentale de l'effet de
certains paramètres sur l'absorbeur d'un capteur
solaire plan

Soutenu le 03/07 /2019 devant le jury composé de:

Dr. Baadji Najib

Université Mohamed Boudiaf- M'sila

Président

Prof. Mayouf SiAbdallah

Université Mohamed Boudiaf- M'sila

Rapporteur

Dr. Boudilmi Aissa

Université Mohamed Boudiaf- M'sila

Examineur

Année universitaire : 2018/2019

Remerciement

Nous remercions en premier lieu Dieu Tout Puissant pour nous avoir accordé la force et la volonté d'achever ce modeste travail.

Nous tenons à remercier est notre encadrant Mr.Si Abdellah Maayouf pour l'orientation, la confiance, la patience que ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage à sa haute personnalité.

Nos vifs remerciement également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs proposition.

*Également tous les étudiants du **Physique énergétique et énergie renouvelable**, et tous les personnes qui ont contribué dans ce travail.....*

*A Tous nos enseignants du département de **Physique énergétique**.*

Enfin, nous tenons à remercier nos familles et nos proches, dont les encouragements et le soutien ont contribué à l'aboutissement de nos études.

Dédicace

Je dédie ce mémoire:

A ma très chère mère qui a été la lumière de ma vie

Et mon père

A mes chères sœurs

A mes frères

*A mes poussines: Sajida, Djana, Halla, Hadil, Dikra, Siradj,
Aridje, Iyade, Alhassan et Alhussein.*

A mon fiancé

A tous les familles Berroubi et Blizak

*A mes très chers amies: Folla, Fatima Alzahraa, khoula,
Ikhlas, Hourai, Badra, Inass.*

A toute la promotion physique énergétique sans exception

A mon encadreur Mr. Si Abdallah Mayouf

Dédicace

Je dédie ce mémoire:

A ma très chère mère qui a été la lumière de ma vie

Et mon père

A mes chères sœurs: Malika, Nassima, Sara, Inass.

A mes frères: Khaled, Islam.

A mes très chers amis: Samira, Salsabil, Ahlem.

A tous les familles Elguerri et Madasse.

A toute la promotion physique énergétique sans exception.

A mon encadreur Mr. Si Abdallah Mayouf.

LISTE DES FIGURES

Désignation	Page
Chapitre I	
Figure (I.1): Structure du soleil en coupe	4
Figure (I.2) : Schématisation du mouvement de la terre autour du soleil.	5
Figure (I.3) : La sphère céleste	6
Figure (I.4) : Les coordonnées géographiques	7
Figure (I.5) : Variation annuelle de la déclinaison du soleil	8
Figure (I.6) : Coordonnées horaires	8
Figure (I.7) : Coordonnées horizontales.	9
Figure (I.8) : Mesure le rayonnement sur une surface d'inclinaison quelconque	11
Figure (I.9) : Représentation des vecteurs unitaires	12
Figure (I.10) : Les composants du rayonnement solaire	14
Figure (II.11) : Le radiomètre de Crookes	17
Figure (I.12) : le pyranomètre	17
Figure (I.13) : le pyréliomètre	18
Figure (I.14) : Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel	19
Chapitre 2	
Figure (II.1) : processus dans un capteur solaire plan	22
Figure (II.2) : Un capteur solaire plan avec vitrage	23
Figure (II.3) : Capteurs plans non vitrés	23
Figure (II.4) : les capteurs à tubes sous vide	24
Figure (II.5) : Capteur cylindro-parabolique	25
Figure (II.6) : Schéma d'un capteur à concentration type parabolique.	25
Figure (II.7): Centrale solaire à tour	26
Figure (II.8) : Les plaques absorbantes d'un capteur plan	28
Chapitre 3	
Figure (III.1) : Les différents échanges thermiques dans un capteur plan	30
Figure (III.2) : Circuit électrique équivalent relative à un capteur solaire plan vitrée	38
Figure (III.3) : Circuit électrique équivalent relative à un capteur solaire plan non vitrée	39
Figure (III. 4) : Organigramme de calcul des puissance solaire	41
Figure (III. 5) : Organigramme de calcul des différent températures du capteur	42
Chapitre 4	
Figure (IV.1) : capteur solaire plan thermique	43
Figure (IV.2) : Evolution temporelle des rayonnements solaires.	44

Figure (IV.3) : Rayonnements solaires globale pour des différents jours de l'année.	45
Figure (IV.4) : Evolution temporelle des rayonnements solaires et le rayonnement absorbée par la vitre et l'absorbeur.	46
Figure (IV.5.a) : Evolution temporelle des rayonnements absorbée par l'absorbeur pour des différents angles d'inclinaison.	47
Figure (IV.5.b) : Variation de la température expérimentale pour des différents angles d'inclinaison.	47
Figure (IV.6) : Comparaison entre les températures de la vitre numérique et expérimentale.	48
Figure (IV.7) : Evolution temporelle de la température de l'absorbeur numérique et expérimentale.	48
Figure (IV.8) : Variation de la température de l'absorbeur en fonction de vitesse de vent.	49
Figure (IV.9) : Puissance solaire absorbée par l'absorbeur en coefficient de trouble.	50
Figure (IV.10) : Variation de la température de l'absorbeur pour des différents Type d'isolant.	50
Figure (IV.11) : Comparaison de la température pour un capteur vitrée et non vitrée.	51

LISTE DES TABLEAUX

Désignation	Page
Tableau(I.1) : Caractéristiques principales du soleil	4
Tableau (I.2): Valeur des coefficients de trouble atmosphérique	15
Tableau (I.3): Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude	15
Tableau (I.4): L'albédo du sol	16
Tableau (III.1) : Analogie du système thermique au modèle électrique	36

NOMENCLATURE

Symbole	Désignation	Unité
E	Energie	J
L	La longitude	Degré
TSV	Le temps solaire vrai	Heure
TSL	Le temps solaire local	Heure
TSU	Le temps solaire universel	Heure
E_t	la correction du TSV par rapport au TL	Heure
H	Hauteur du soleil	Degré
ω	L'angle horaire	Degré
a	Azimut du soleil	Degré
i	Angle d'incidence sur un plan	Degré
I_g	Rayonnement solaire global incident	W/m^2
I_0	La constante solaire	W/m^2
C_{p_i}	Chaleur spécifique d'un corps d'indice i	$J/Kg.k$
e_i	Epaisseur d'un corps d'indice i	M
$h_{c,i-j}$	Coefficient d'échange thermique par convection entre deux systèmes d'indice i et j	$W/m^2.k$
$h_{r,i-j}$	Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre deux systèmes d'indice i et j	$W/m^2.k$
F_{i-j}	Facteur de forme	-
R	Résistance thermique	$W/K.m^2$
m_i	Masse d'un corps d'indice i	Kg
T_i	Température d'un corps d'indice	$^{\circ}K$
S	Surface	m^2

Lettre Grec

Lettre Grec	Désignation	Unité
α	Facteur d'absorption	-
β	Inclinaison du capteur	$^{\circ}$
ρ	L'albédo du sol	-
ε	Emissivité d'un corps	-
λ	Conductivité thermique	$w/m^2.k$
τ	Facteur de transmission	-
σ	Constante de Stefan Boltzmann	$w/m^2.k^{-4}$
Φ	La latitude	Degré
γ	Orientation de plan	Degré
δ	La déclinaison du soleil	Degré

SOMMAIRE

Introduction générale.....	I
Chapitre I: Généralités sur le gisement solaire	
I.1.Introduction.....	3
I.2.Le gisement solaire.....	3
I.3.Le soleil.....	3
I.4.Mouvements de la terre.....	5
I.5.Sphère sélecte.....	6
I.6.Les coordonnées terrestres.....	6
I.6.1.Les coordonnées géographiques.....	6
I.6.2. Les coordonnées horaires.....	7
I.6.3.Les coordonnées horizontales.....	9
I.7.Equation du temps.....	10
I.7.1.Le temps solaire vrai.....	10
I.7.2.Le temps solaire local.....	10
I.7.3.Le temps universel.....	10
I.8.Angle d'incidence sur un plan.....	11
I.9.Direction des rayons solaires par rapport à un plan.....	11
I.10.Le rayonnement solaire.....	13
I.11.Constante solaire.....	13
I.12.Différents types de rayonnement solaire.....	14
I.13.Présentation des différents instruments de mesure du rayonnement solaire.....	17
I.14.Le gisement solaire en Algérie.....	18
I.15.Conclusion.....	19
Chapitre II: Généralité sur les capteurs solaires	
II.1.Introduction.....	20
II.2.Les type des Capteurs solaires.....	20
II.2.1.Les capteurs solaires thermiques.....	21
II.2.2.Les capteurs solaires photovoltaïques.....	21
II.3.Principe de fonctionnement d'un capteur solaire thermique.....	21
II.4.Classification des capteurs thermiques.....	22
II.5.Capteur plan.....	22
II.5.1.Capteurs plans avec vitrage.....	22
II.5.2.Les capteurs solaires plans non vitrés.....	23
II.6.les capteurs à tubes sous vide.....	24
II.7.Les capteurs à concentration.....	24
II.7.1.Capteur cylindro-parabolique.....	24
II.7.2.Capteur parabolique.....	25
II.7.3.Centrale solaire à tour (Cheminé solaire).....	26
II.8.Les constituants d'un capteur plan vitré.....	26
II.8.1.Le coffre.....	26
II.8.2.L'isolation thermique.....	26
II.8.3.La couverture transparente (vitrage).....	27
II.8.4.Le fluide caloporteur.....	27
II.8.5.L'absorbeur.....	28

II.9.Conclusion.....	29
Chapitre III: Etude mathématique et numérique d'un Capteur solaire plan	
III.1.Rappels sur les transferts de chaleur.....	30
III.2.Les modes de transfert thermique.....	30
III.2.1.La conduction.....	30
III.2.2.La convection.....	31
III.2.2.1.La convection forcée.....	32
III.2.2.2.La convection naturelle.....	32
III.2.3.Transfert de chaleur par rayonnement.....	34
III.3.Échanges thermiques au niveau de la vitre et de l'absorbeur.....	35
III.4.Perte globale d'énergie.....	36
III.5.ANALOGIE ELECTRIQUE.....	36
III.6.Bilan thermique d'un capteur solaire plan vitré en régime transitoire.....	38
III.7.Bilan thermique du capteur solaire plan non vitre en régime transitoire..	39
III.8.Rendement optique.....	39
III.9.Etude numérique.....	40
Chapitre IV: Résultats et discussions	
IV.1.INTRODUCTION.....	43
IV.2.Description du capteur plan étudié.....	43
IV.3.Calcul des rayonnements solaires.....	44
IV.4.Variation temporelle du rayonnement solaire saisonnier.....	45
IV.5.Variation temporelle de rayonnement globale absorbé par la vitre et l'absorbeur.....	45
IV.6.Effet de l'angle d'inclinaison du capteur.....	46
IV.7.Comparaison entre les résultats numériques et expérimentaux.....	47
IV.8.effet des quelques parametres internes et externes sur l'absorbeur.....	49
IV.8.1.Effet de la vitesse de vent.....	49
IV.8.2.Effet du trouble atmosphérique.....	49
IV.8.3. Effet du type de l'isolant.....	50
IV.8.4. Effet de la couverture transparent.....	51
Conclusion générale.....	52
Références.....	54
Annexe.....	56

INTRODUCTION GENERALE

L'énergie solaire reçue sur la terre en une heure pourrait couvrir tous les besoins énergétiques mondiaux pendant une année.

L'énergie renouvelable la plus dominante est l'énergie solaire qui assure la vie sur terre, et qui a été exploitée par l'homme depuis très longtemps, sous diverses formes.

En raison de sa position géographique, l'Algérie dispose d'un important potentiel en énergie solaire qui n'attend qu'une bonne exploitation. L'une des applications les plus prometteuses de cette source d'énergie est le captage solaire pour répondre aux besoins en énergies des populations et plus particulièrement celles en zone saharienne.

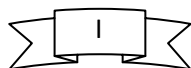
L'énergie solaire peut être captée et transformée en chaleur ou en électricité grâce à des capteurs adaptés. Il existe deux utilisations de l'énergie solaire :

- La production de chaleur : le solaire thermique.
- La production d'électricité : le solaire photovoltaïque.

Les capteurs solaires sont des différents types et celui qui nous intéresse particulièrement, le capteur plan simple à eau et à air, qui est utilisé dans beaucoup d'applications nécessitant des températures basses et modérées, tel que pour le chauffage de l'eau à l'usage domestique, le chauffage des locaux et le séchage qui est une opération souvent nécessaire dans de nombreux processus : (agroalimentaire, matériaux de construction, bois...).

L'objectif de ce travail est l'étude expérimentale et numérique des effets des quelques paramètres internes et externes sur la plaque absorbante (l'absorbeur) d'un capteur solaire plan sans fluide caloporteur.

Pour notre part, nous proposons d'étudier les variations des différentes températures selon les composants du capteur et de l'effet de certains paramètres sur l'absorbeur celle ci , ainsi l'évolution du rayonnement solaire et leur influence sur la production.



A cet effet, nous avons établi un système d'équation régissant le fonctionnement du capteur et les différents coefficients d'échange thermique, résolu numériquement qui nous a permis d'obtenir des résultats représentés graphiquement, suivi par une analyse et une discussion.

Ce travail est organisé en quatre chapitres et une annexe de la manière suivante:

- Dans le premier chapitre, nous avons exposé quelques notions sur le gisement solaire et aussi quelque définition astronomique pour déterminer l'irradiation solaire globale.
- Le deuxième chapitre c'est une généralité sur des différents types des capteurs solaires, les classifications, les différents composants et le fonctionnement.
- Le troisième chapitre est consacré à l'étude des différents échanges thermiques mis en jeu au sein du capteur et les différentes équations gouvernant le fonctionnement du système en régime transitoire ainsi qu'une simulation numérique du comportement du système
- Les résultats expérimentaux et numériques sont présentés dans le quatrième chapitre. Nous avons présenté la variation des puissances et les effets des quelques paramètres sur les températures et la puissance pour les composantes du capteur en fonction de temps pour quelques jours.
- En fin, ce manuscrit est terminé par une conclusion générale.
- Dans l'annexe, nous avons présenté les différents résultats expérimentales obtenus sous formes des tableaux.



Généralités sur le Gisement Solaire

I.1.Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude du rayonnement solaire et de ses composantes. Les définitions de quelques données astronomiques nécessaires pour cette étude seront également présentées.

I.2.Gisement solaire

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire [1].

Il est utilisé dans des domaines aussi variés que l'agriculture, la météorologie, les applications énergétiques et la sécurité publique.

Dans les systèmes d'exploitation de l'énergie solaire, le besoin de données d'insolation est d'une importance capitale aussi bien dans la conception et le développement de ces systèmes que dans l'évaluation de leurs performances.

L'existence d'une solide et fiable base de données est une nécessité pour au moins la survie économique des installations de collection et de conversion de l'énergie solaire.

I.3.Le soleil

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1 391 000 km (100 fois celui de la Terre), sa masse est de l'ordre de 2.1027 tonnes.

Toute l'énergie du Soleil provient de réactions thermo-nucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564.106 tonnes d'hydrogène en 560.106 tonnes d'Hélium, la différence de 4 millions de tonnes est dissipée sous forme d'énergie ($E = mc^2$), ce qui représente une énergie totale de 36.1022 kW. La Terre étant à une distance de 150.106 km du Soleil, elle reçoit une énergie de 1,8.1017 W [2].

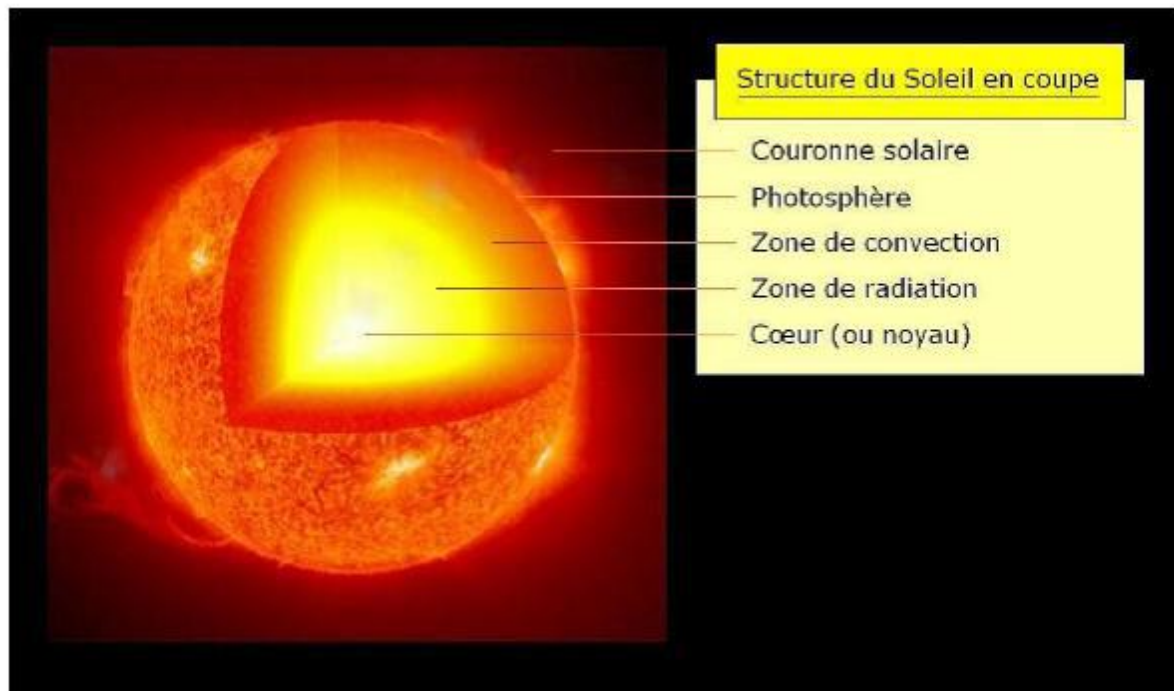


Figure (I.1) : Structure du soleil en coupe

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

Tableau (I.1) : Caractéristiques principales du soleil

Caractéristique	Valeur
Diamètre	1.392.109 m
Masse	1.989.1030 Kg
Masse volumique moyenne	1410 Kg/m ³
Puissance rayonnée	3.83.1026 W
Température superficielle	5770 °K
Vitesse de déplacement	216 Km s ⁻¹

I.4.Mouvements de la terre

La connaissance des mouvements relatifs à la terre et au soleil est nécessaire pour connaître le flux solaire reçu sur la surface de la terre en un lieu quelconque et en un instant quelconque de la journée ou de l'année.

La terre effectue donc une révolution autour du soleil, selon une trajectoire assez proche d'un cercle (plan de l'écliptique ou orbite de la terre).

La distance terre-soleil est approximativement de 150 millions de kilomètres, et il faut 8 minutes à sa lumière ou énergie pour nous parvenir. Ce tour complet dure 365 jours et 6 heures, ce qui correspond à une année solaire. Tous les 4 ans, une année bissextile de 366 jours permet de compenser les 6 heures par un jour ($4 \times 6 = 24h$). [3]

La terre tourne également sur elle même autour d'un axe appelé l'axe des pôles et passant par le centre de la terre appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique en fait l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé **inclinaison** l'ordre de $23^{\circ}27'$.

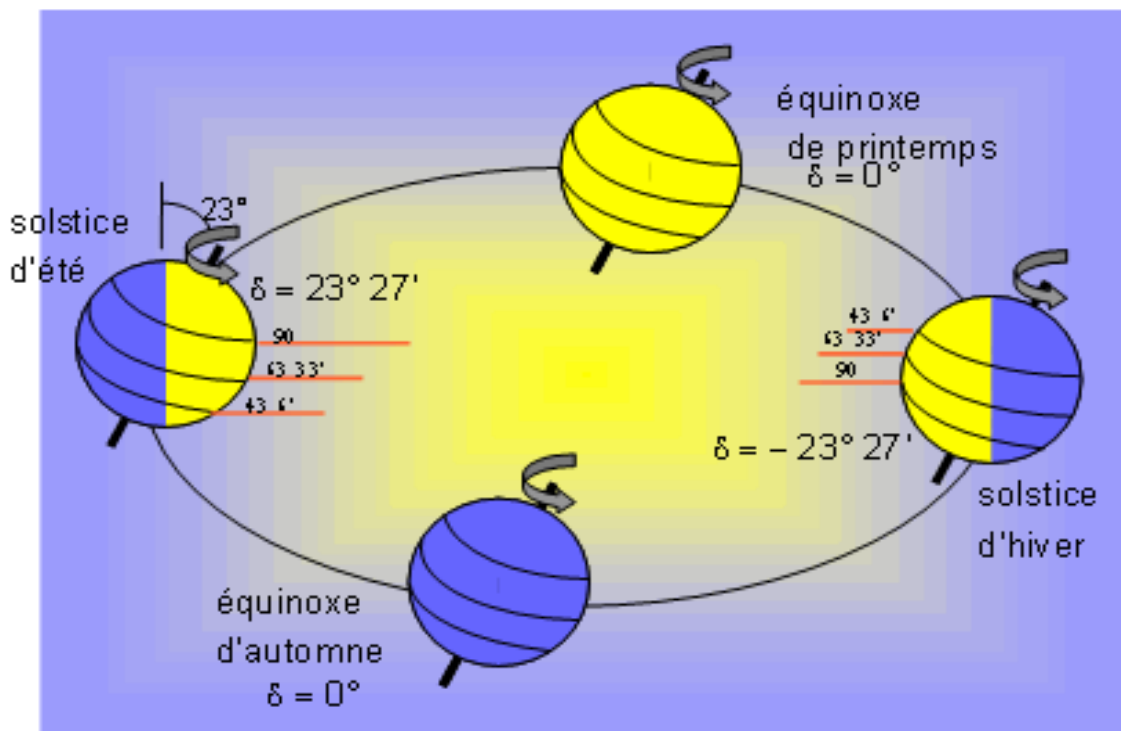


Figure (I.2) : Schématisation du mouvement de la terre autour du soleil.

I.5. Sphère céleste

La sphère céleste est une sphère imaginaire de rayon indéfini, établie dans les cieux et ayant comme centre l'oeil d'un observateur terrestre. La sphère est la base du système de coordonnées employé pour déterminer les positions des astres. Elle est également utilisée pour désigner les intervalles de temps. [4]

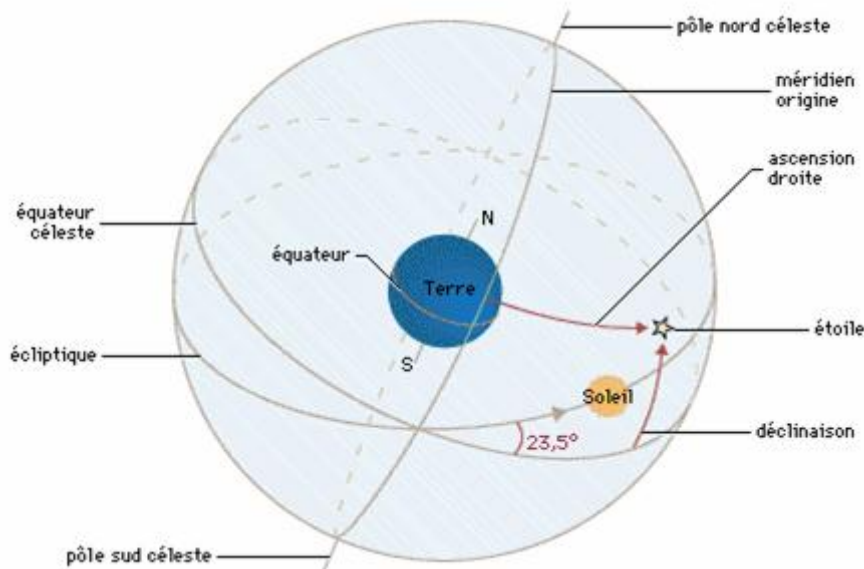


Figure (I.3) :La sphère céleste

I.6. Les coordonnées terrestres

I.6.1. Les coordonnées géographiques

La terre est pratiquement une sphère qui tourne autour d'un axe passant par le pôle Nord et le pôle Sud.

Tout point de la surface de la terre est repéré par ses coordonnées géographiques, la latitude et la longitude. [5-7]

✓ **La latitude (Φ) :**

La latitude permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque par rapport à l'équateur.

Elle varie de 0° à l'équateur à 90° au pôle Nord.

✓ **La longitude (L) :**

C'est l'angle entre le plan méridien passant par ce lieu avec méridienne origine de

Greenwich, elle varie de -180° à $+180^\circ$ de l'Ouest à l'Est. Le méridien de Greenwich est un méridien où la longitude est définie comme égale à 0. Les lieux qui sont situés à l'Est sont comptés avec le signe (+) et les lieux qui sont situés à l'Ost sont comptés avec le signe (-) .

- Longitude Est $L < 0^\circ$
- Longitude Est $L > 0^\circ$

Il y a vingt trois méridiens séparés de 15° donnant naissance aux 24 fuseaux horaires

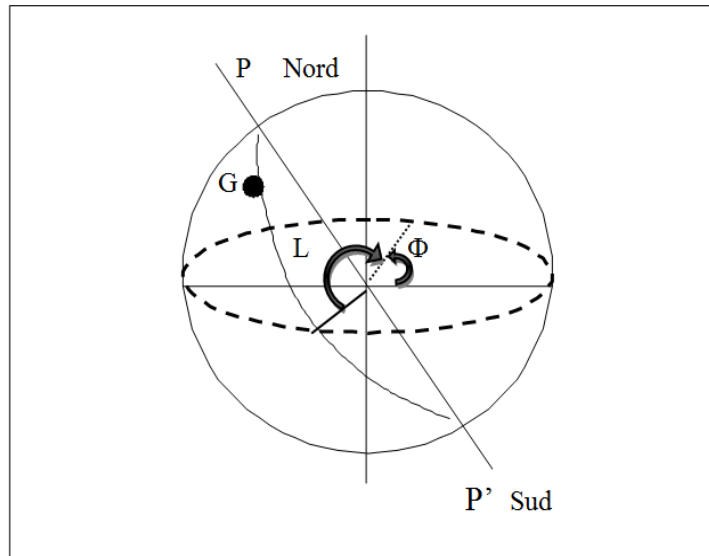


Figure (I.4) : Les coordonnées géographiques

I.6.2. Les coordonnées horaires

Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan équatorial de la terre à l'aide de deux angles (δ , H) , déclinaison et la hauteur .

✓ La déclinaison du soleil

C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre [8], elle varie au cours de l'année entre $-23,45^\circ$ et $+23,45^\circ$; donc elle maximale au solstice d'été (21 juin) et minimale au solstice d'hiver (21 décembre). elle est nulle aux équinoxes (21 mars et 21 septembre). Elle est donné par la relation suivante:

$$\delta = 23.45 . \sin \left[\frac{360}{365} (n_j + 284) \right] \tag{I.1}$$

où n_j est le numéro du jour dans l'année $1 \leq n \leq 365$

La variation de la déclinaison du soleil au cours de l'année est représentée par la figure Figure(I.5).

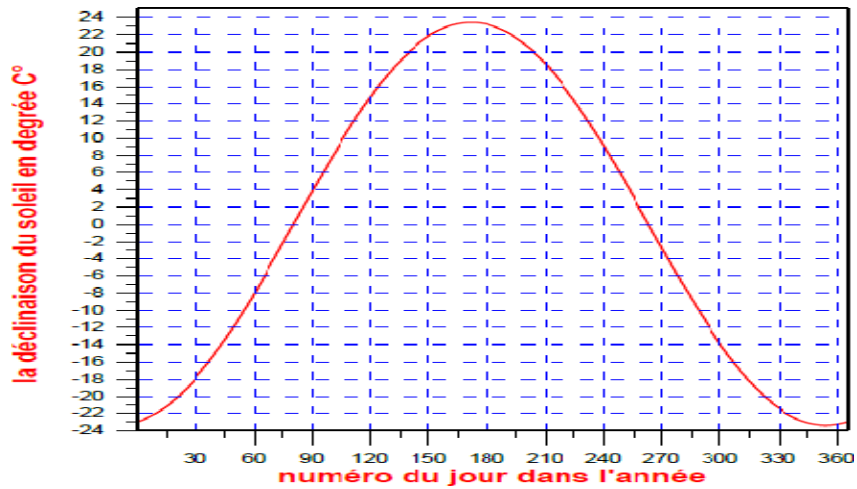


Figure (I.5) : Variation annuelle de la déclinaison du soleil

✓ L'angle horaire

C'est l'angle compris entre la méridienne origine passant par le sud et la projection du soleil sur le plan équatorial, il mesure la course du soleil dans le ciel [7].

Il est donné par la relation suivante:

$$\omega = 15 \times (TSV - 12) \tag{I.2}$$

TSV : temps solaire vrai.

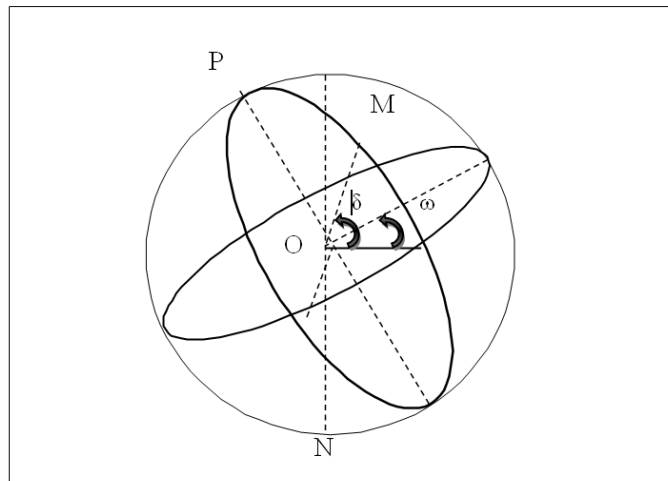


Figure (I.6) : Coordonnées horaires.

I.6.2. Les coordonnées horizontales

✓ Hauteur du soleil (h)

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection. Il est compté de 0° à 90° vers le zénith et de 0° à -90° vers le nadir, On appelle quelque fois **distance zénithale** le complément de l'angle h tel que : $z + h = 90^\circ$ et il est donné par:

$$\sin(h) = \sin(\Phi)\sin(\delta) + \cos(\Phi).\cos(\delta) \tag{I.3}$$

✓ Azimut du soleil (a)

C'est l'angle entre la direction de soleil et la direction de sud. On peut le compter positivement de 0 à +180° vers l'ouest et négativement de 0 à -180° vers l'est. On note ici que **l'azimut solaire** est négatif le matin (direction Est), nul à midi (direction Sud) et positif l'après-midi (direction Ouest), sur tout le globe. Il diffère de **l'azimut géographique**, lequel est toujours mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du Nord, indépendamment de l'hémisphère du point d'observation (figure I.7).

Il est donné par la relation suivante :

$$\sin(a) = \frac{(\cos(\delta).\sin(\omega))}{\cos(h)} \tag{I.4}$$

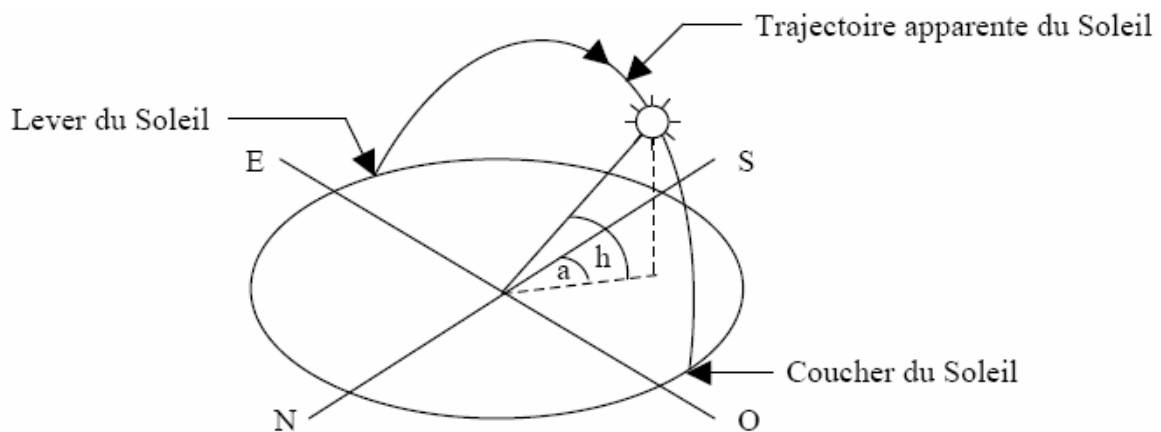


Figure (I.7) : Coordonnées horizontales.

I.7.Equation du temps

L'expérience montre que les passages du soleil dans le plan méridien d'un lieu donné ne se succèdent pas avec exactement 24h d'intervalle et le midi vrai peut atteindre une avance de 16mn ou un retard de 14mn par rapport à 12h selon l'époque de l'année.

I.7.1. Le temps solaire vrai (TSV)

C'est le temps repéré de façon que le soleil se trouve au zénith à midi. Il est défini par l'heure de passage du soleil à la méridienne origine.

Il est donné par relation :

$$TSV=12+ \omega/15 \tag{I.5}$$

TSV=12h si $\omega=0^\circ$

ω est compté positivement l'après midi.

I.7.2.Le temps solaire local (TL=TSM)

Le temps solaire local est appelé parfois temps moyen TSM . C'est le temps solaire local corrigé de l'équation du temps.

$$Et =TSV- TL \tag{I.6}$$

"Et" étant la correction du TSV par rapport au TL; cette correction varie de 14 minutes (11février) à -16 minutes (3 novembre).

$$Et=9.87\text{Sin} (2N)-7.53\text{cos} (N)-1.5\text{sin}(N) \quad (\text{min}) \tag{I.7}$$

avec: $N= (nj-81) \times(360/365)$

Où nj est le numéro du jour dans l'année.

I.7.3.Le temps universel (TU)

Il est défini par l'heure de passage du soleil au méridien de Greenwich .

En un lieu de longitude donnée, le temps universel est lié au temps solaire moyen (local) par la relation:

$$TU =TL \pm L/15 \tag{I.8}$$

Pour longitudes Est; (-) pour longitudes Ouest

Le temps universel se calcule finalement par la formule:

Le terme $(L/15 = \Delta H)$ est le décalage horaire entre le méridien de **Greenwich** et l'état considéré

I.8. Angle d'incidence sur un plan

L'angle d'incidence i est l'angle entre la direction du soleil et la normale du plan. Cet angle est déterminé par la connaissance des cosinus directeurs du rayon incident et la normale en coordonnées horizontales, (figure. I.8).

$$\cos(i) = \cos(\beta - a) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(h) + \sin(\gamma) \cdot \sin(h) \tag{I.9}$$

γ : Orientation de plan

a : l'azimut solaire

β : angle d'inclinaison par rapport à l'horizontal

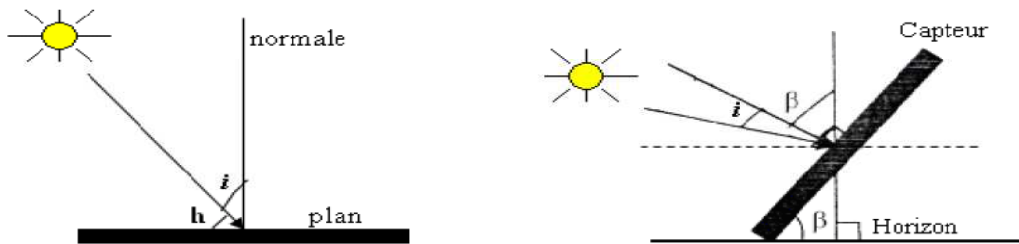


Figure (I.8) : le rayonnement sur une surface d'inclinaison quelconque

I.9. Direction des rayons solaires par rapport à un plan

On considère un plan quelconque situé dans un lieu de latitude caractérisé par deux angles : γ : L'angle entre le méridien local et la normale au plan (figure I.9).

$\gamma = 0$; le plan est orienté vers le Sud.

$\gamma = \pi$; le plan est orienté vers le Nord.

$\gamma = -\pi / 2$; le plan est orienté vers l'Est.

$\gamma = \pi / 2$; le plan est orienté vers l'Ouest.

β = l'angle entre le plan horizontal et le plan considéré.

$\beta = 0$; le plan est horizontal.

$\beta = \pi/2$; le plan est vertical.

Soit :

N : le vecteur unitaire porté par la direction des rayons solaires.

n : le vecteur unitaire porté par la normale à la surface.

i : l'angle d'incidence (n, N) . (figure I.9)

$$\vec{N} \approx \left\{ \begin{array}{l} \sin(\beta) \times \cos(h) \\ \cos(\beta) \times \cos(h) \\ \sin(h) \end{array} \right. \quad \vec{n} \left\{ \begin{array}{l} \sin(\beta) \times \cos(\gamma) \\ \cos(\beta) \cos(\gamma) \\ \sin(\gamma) \end{array} \right\}$$

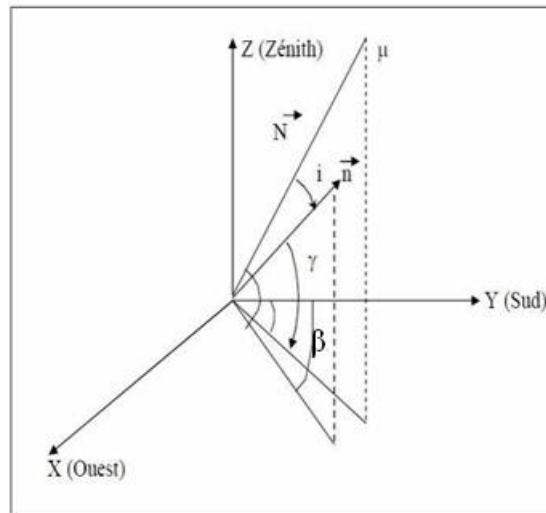


Figure (I.9) : Représentation des vecteurs unitaires

$$\vec{N} = \left\| \vec{n} \right\| \times \left\| \vec{N} \right\| \times \cos(i) = \cos(i).$$

$$\vec{N} \times \vec{n} = \sin(a) \times \cos(h) \times \sin(\beta) \times \cos(\gamma) + \cos(a) \times \cos(h) \times \cos(\beta) \cos(\gamma) + \sin(h) \times \sin(\gamma) = \cos(i).$$

Par conséquent :

$$\cos(i) = \cos(h) \times \cos(\gamma) \times \cos(\beta) + \sin(h) \times \sin(\gamma)$$

Exprimons $\cos(i)$ en coordonnées horaires, il en résulte:

$$\begin{aligned} \cos(i) = & \cos(\delta) \times \sin(\omega) \times \sin(\beta) \times \cos(\gamma) + [\sin(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) - \cos(\Phi) \times \sin(\delta)] \\ & \times \cos(\beta) \times \cos(\gamma) + [\cos(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) + \sin(\Phi) \sin(\delta)] \times \sin(\gamma) \end{aligned} \quad (I.10)$$

Quelques cas particuliers:

Dans les cas particuliers où les surfaces sont horizontales ou verticales avec une orientation vers le sud ($\gamma = 0$), l'expression (I.10) devient:

$$\cos(i) = \cos(\delta) \times \sin(\omega) \times \sin(\beta) + [\sin(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) - \cos(\Phi) \times \sin(\delta)] \times \cos(\beta)$$

Surface vertical $\beta = \pi/2$

$$\cos(i) = \cos(\delta) \times \sin(\omega)$$

Surface horizontal ($\beta = 0$) :

$$\cos(i) = [\sin(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) - \cos(\Phi) \times \sin(\delta)]$$

I.10. Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est une énergie produite par le Soleil à la suite des réactions de fusion thermonucléaire qui dégage une très grande quantité d'énergie, source de la plupart des énergies disponibles sur Terre et exploitable pour la production d'électricité et dans l'utilisation thermique.

L'énergie solaire se propage dans l'espace sous la forme de « grains », ou quanta d'énergie, les photons ; elle est sans cesse renouvelée.

L'énergie reçue par une surface dépend en outre de la saison, de la latitude et de l'orientation de la surface considérée.

I.11. Constante solaire (I_C)

On appelle constante solaire noté I_C , la valeur moyenne du flux solaire reçu à la limite de l'atmosphère terrestre.

C'est la quantité d'énergie totale envoyée par le soleil à la limite de l'atmosphère Terrestre sur une surface unité perpendiculaire au rayonnement solaire. Cette valeur déterminée à partir des mesures réalisées à l'aide de ballon de fusées ou des satellites.

La valeur moyenne annuelle est $I_0=1353 \text{ W/m}^2$. Cette valeur est en fonction de la distance Terre - Soleil, qui varie quelque peu au cours de l'année

La variation de la constante solaire en fonction du numéro du jour (nj) de l'année suit la relation suivante : [8]

$$I_c = I_0 [1 + 0,033 \cos(0,984 \times nj)] \quad (1.11)$$

nj : numéro du jour de l'année.

I.12. Différents types de rayonnement solaire

Le rayonnement global sur une surface avec orientation arbitraire et une inclinaison par rapport à l'horizontale est la somme de rayonnement direct, le rayonnement diffus du ciel et le rayonnement réfléchi, figure (I.10).

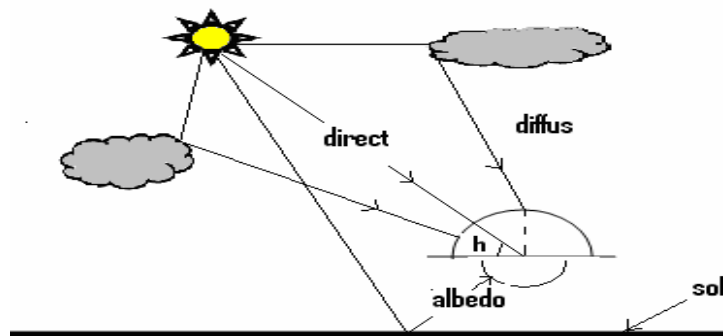


Figure (I.10) : Les composants du rayonnement solaire

a) Rayonnement diffus

Le rayonnement diffus est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère et de sa réflexion par le sol. La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Dans le ciel ce sont à la fois les molécules d'air, les gouttelettes d'eau (nuage) et les poussières qui produisent cet éclatement des rayons du soleil.

Le flux diffus émis par la voûte céleste I_{diff1} donné par la relation :

$$I_{diff1} = I_h \times \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \quad (I.12)$$

avec

$$I_h = I_c \times \sin(h) \times (0.271 - 0.2939 \times \tau_{dir})$$

τ_{dir} : Étant la transmissivité total de la couche atmosphérique pour le flux solaire incident direct est donnée par:

$$\tau_{dir} = a \times \exp\left(\frac{-b}{\sin(h)} \times \frac{p}{1000}\right)$$

a et b : Coefficients traduisant les troubles atmosphérique, Tableau (I.2).

P: la pression atmosphérique en fonction de l'altitude, Tableau (I.3)

Tableau (I.2) : Valeur des coefficients de trouble atmosphérique

	Ciel Pur	Condition normale	Zone industrielles
a	0.87	0.88	0.91
b	0.17	0.26	0.43

Tableau (I.3) : Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude

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

Le rayonnement émis par le sol I_{diff2} est dépend de l'albédo du sol qui représente le rapport entre la partie réfléchié par le sol et la partie reçue donné par l'expression :

$$I_{diff2} = \rho \times \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \times (I_c \times \tau_{dir} \times \sin(h) + I_h) \tag{I.13}$$

ρ : L'albédo du sol, il dépend de l'environnement du site, Tableau (I.4)

Tableau (I.4) : L'albédo du sol

Nature du sol	ρ
Herbe fraîche	0,20
Herbe sèche	0,30
Terre cultivée, nue	0,16
Gravier	0,22
Neige fraîche	0,85
Etendu d'eau	0,05

b) Rayonnement direct

Le rayonnement direct est le rayonnement reçu directement du soleil, sans diffusion dans l'atmosphère, ses rayons sont parallèles entre eux.

Le rayonnement direct reçu dans le plan du capteur est donné par :

$$I_{(\beta, \gamma)} = I_{dir} \cdot \cos(i) \tag{I.14}$$

Avec :

$$I_{dir} = I_c \times a \times \cos(i) \times \text{Exp}\left(\frac{-b}{\sin(h)} \times \frac{p}{1000}\right)$$

I_{dir} : rayonnement direct normal

i : Angle d'incidence

c) Rayonnement global

Le rayonnement global sur une surface est la somme du rayonnement direct (I_{dir}) et du rayonnement diffus (I_{dif}), soit :

$$I_{gl} = I_{dir} + I_{dif} \tag{I.15}$$

I.13. Présentation des différents instruments de mesure du rayonnement solaire.

Les appareils pour le mesurer sont appelés pyranomètres et ils sont fabriqués sur la base de photorécepteur thermiques ou quantiques, parmi celles:

a) **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. Il en résulte une dissymétrie dans l'absorption du rayonnement incident, qui provoque la mise en rotation du moulin. Voir William Crookes.



Figure (I.11) : Le radiomètre de Crookes

b) **Le pyranomètre** est un radiomètre pour la mesure du rayonnement dans un plan, le rayonnement incident étant issu de l'ensemble de l'hémisphère situé au-dessus de l'instrument.



Figure (I.12) : le pyranomètre

c) le pyréliomètre

est un radiomètre muni d'un collimateur, pour la mesure du rayonnement solaire direct sous incidence normale.

Un héliographe est un instrument enregistrant la durée pendant laquelle le rayonnement solaire est d'une intensité suffisante pour produire des ombres distinctes.



Figure (I.13) : le pyréliomètre

I.14. Le gisement solaire en Algérie

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire.

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la (figure I.14) :

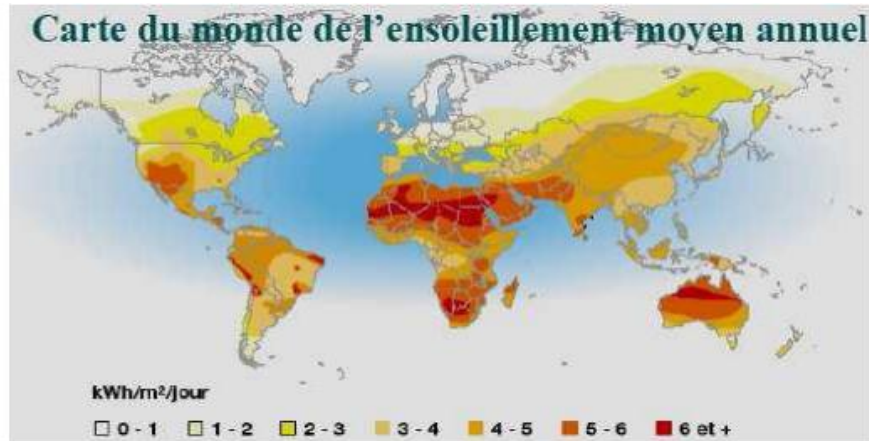


Figure (I.14) : Carte du monde de l'ensevelissement moyen annuel

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 T Wh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. [9]

I.15.Conclusion

On a présenté dans ce chapitre quelques notions de base relative au gisement solaire, la connaissance de ces notions fondamentales et particulièrement le rayonnement global au sol va nous servir par la suite dans l'exploitation de l'énergie solaire par un capteur solaire.

Les mesures solaires sont principalement des mesures au sol du rayonnement direct, diffus et du rayonnement global. D'autres paramètres peuvent également être mesurés et qui sont : les durées d'insolation et le temps horaire.

*Généralité sur les Capteurs
Solaires Plans*

II.1.Introduction

Les rayonnements solaires sont des rayonnements électromagnétiques émis par le soleil qui peut être captée et transformée en énergies utiles, telles que la chaleur et l'électricité, en utilisant une variété de technologies. Toutefois, la faisabilité technique et le fonctionnement économique de ces technologies a un endroit précis dépend de la ressource solaire disponible [10-11].

La technologie solaire offre un grand potentiel en matière de fourniture des besoins énergétiques de la planète. Cependant, l'utilisation de cette énergie reste dans le monde est encore limitée. Le facteur principal est lié à un coût initial élevé de la construction du système.

L'énergie solaire peut être utilisée par trois procédés technologiques chimiques, électriques et thermiques, [12].

- 1) Le Processus chimique grâce à la photosynthèse, conserve la vie sur la terre par la production d'aliments et convertit le CO₂ à O₂.
- 2) Le processus électrique, utilisant des convertisseurs photovoltaïques, fournit de l'énergie électrique pour les satellites et il est utilisé aussi dans des nombreuses applications terrestres pour la production de l'énergie électrique.
- 3) Procédé thermique utilisée pour fournir une grande partie de l'énergie thermique nécessaire pour le chauffage solaire de l'eau et le chauffage du bâtiment. Une autre forme de convertir le rayonnement solaire est l'énergie mécanique du vent et de vapeur d'eau.

La composante la plus importante et la plus coûteuse d'un système solaire actif de l'énergie est le capteur solaire, qui peut être effectuée dans un plusieurs versions, à partir des constructions des capteurs solaires où, sont des dispositifs mécaniques qui captent l'énergie solaire rayonnante et les convertit en énergie utile thermique ou électrique. On distingue plusieurs types des capteurs solaires.

II.2.Les type des Capteurs solaires

Selon la conversion d'énergie on distingue deux catégories de capteurs solaires :

- Capteurs solaires thermiques
- Capteurs solaires photovoltaïques

II.2.1. Les capteurs solaires thermiques

L'énergie solaire thermique désigne l'énergie récupérée à partir de la lumière du soleil par des capteurs solaires thermiques vitrés ou peuvent être non vitrés pour assurer le chauffage direct de l'eau et des locaux. La chaleur concentrée par les panneaux est transférée à un fluide caloporteur. Quatre mètres carrés permettent de répondre aux besoins en eau chaude d'une famille de quatre personnes. Avec un système d'énergie solaire thermique, un chauffage d'appoint reste nécessaire pour les périodes climatiques les plus défavorables [13].

II.2.2. Les capteurs solaires photovoltaïques

Le terme photovoltaïque vient du mot Grec **photos** qui signifie lumière et du nom du physicien italien **volta** ; ce dernier fut l'inventeur de la pile électrique en 1800. Mais l'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français Alexandre-Edmond Becquerel, qui a mis en évidence la variation de la conductivité d'un matériau sous l'effet de la lumière [14].

II.3. Principe de fonctionnement d'un capteur solaire thermique

Un capteur solaire est un dispositif qui absorbe le rayonnement solaire et le convertit en chaleur qui sera transmise à un fluide "fluide caloporteur". Ce système de captage repose sur l'effet de **serre** où le rayonnement est capté dans le domaine du visible et du proche infrarouge (longueurs d'ondes comprises entre $(0.78\mu_m$ et $3\mu_m)$), il traverse la vitre et il est piégé à l'intérieur où il est capté par la surface absorbante [15].

L'absorbeur émet du rayonnement thermique dans un domaine de l'infrarouge éloigné du visible entre $(4 \mu_m$ et $30 \mu_m)$. Ce rayonnement est totalement arrêté par la paroi du verre qui s'échauffe et rayonne par moitié vers la surface absorbante et par moitié vers l'extérieur.

Le fluide qui circule sous cette paroi récupère par convection une partie de cette énergie absorbée et subit une élévation de température à la traversée du capteur [16].

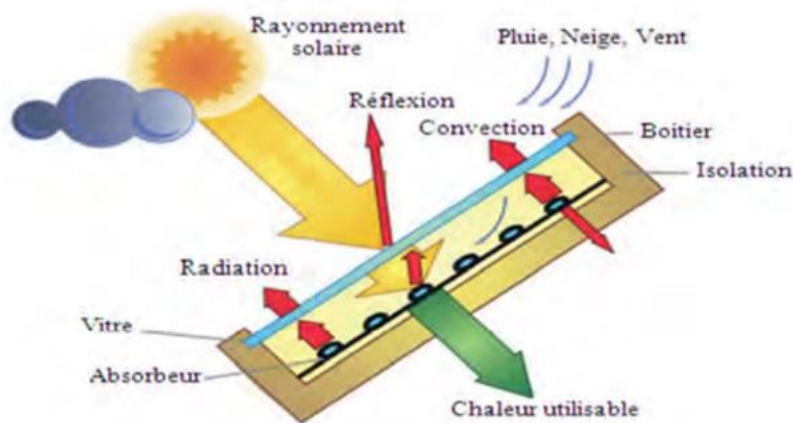


Figure (II.1) : processus dans un capteur solaire plan

II.4. Classification des capteurs thermiques

Les capteurs solaires sont classés selon la température: soit à faible température, moyen température ou à haut température [17-18].

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

- Capteur plan
- Capteur à tube sous vide
- Capteur à concentration

II.5. Capteur plan

Un Capteur solaire plan est constitué d'une boîte isotherme contenant une plaque d'absorption de couleur foncée et avec un ou plusieurs vitrages. Les plaques absorbantes sont généralement fabriquées à partir de métal en raison de sa haute conductivité thermique (comme le cuivre et l'Aluminium) et peints avec des revêtements de surface sélectifs spéciaux a fin d'absorber et transférer la chaleur mieux que la peinture noire régulier possible. Le vitrage recouvre réduire la convection et les pertes de chaleur de rayonnement vers l'extérieure [17] . En Plus, ce type du capteur peut être vitré ou non vitré :

II.5.1. Capteurs plans avec vitrage

Dans les capteurs plans avec vitrage, comme il est indiqué dans la figure II.2, une plaque absorbante (qui souvent est recouverte d'un revêtement sélectif) est fixée dans un cadre entre un vitrage simple ou double et un panneau isolant placé à l'arrière. L'énergie solaire est ainsi emprisonnée dans le capteur à cause du vitrage (**effet de serre**). Ces capteurs sont couramment utilisés pour des applications à températures modérées (chauffage de l'eau

sanitaire, chauffage des locaux, chauffage des piscines intérieures ouvertes toute l'année et chauffage pour procédés industriels).

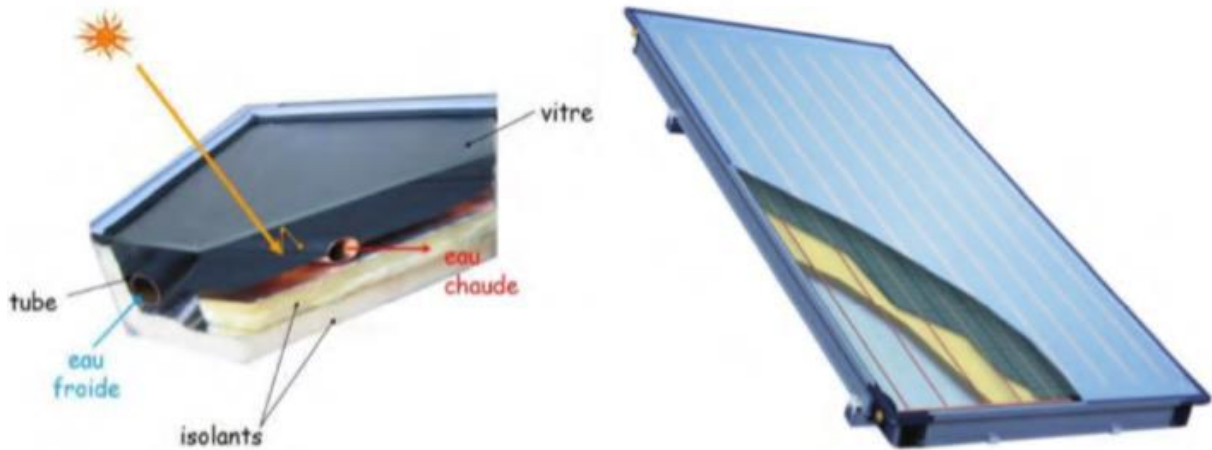


Figure (II.2) : Un capteur solaire plan avec vitrage

II.5.2. Les capteurs solaires plans non vitrés

Ils sont constitués d'un réseau de tubes peints en noir sans couverture transparente (figure II.3). C'est un capteur qui par contre, est très dépendant de la température de l'air. Performant l'été, il présente une grande sensibilité au vent froid l'hiver par son absence de vitrage. Ils sont essentiellement utilisés pour le chauffage de l'eau des piscines extérieures en été et assurent des températures relativement basses de l'ordre de 30 à 35°C.



Figure (II.3) : Capteurs plans non vitrés

II.6. les capteurs à tubes sous vide

Il s'agit d'un tube cylindrique porteur lui aussi d'un traitement de surface qui maximise l'absorption solaire. Suivant les technologies le cylindre sous vide est en fait constitué de deux tubes concentriques emboîtés l'un dans l'autre. Entre ces deux tubes est réalisé le vide d'air. Dans cette version, le vide n'est fait qu'entre les deux tubes, la partie centrale du tube interne n'est pas sous vide. Dans une autre version, il s'agit d'un seul tube transparent dans lequel le vide est complet. La restitution de l'énergie captée se fait au niveau d'un collecteur de chaleur placé au sommet du capteur dans lequel les tubes sous vide sont enfichés. La transmission d'énergie thermique au liquide caloporteur se fait par deux méthodes. Le premier fait passer directement au liquide caloporteur au contact de l'absorbeur, l'autre technique utilise un caloduc. Le caloduc est une simple tube de cuivre qui contient une liquide à changement de phase. Au contact de la chaleur, ce liquide se vaporise et échange sa chaleur au liquide caloporteur (figure II.4). Cet échange de chaleur le condense et ainsi de suite [19].

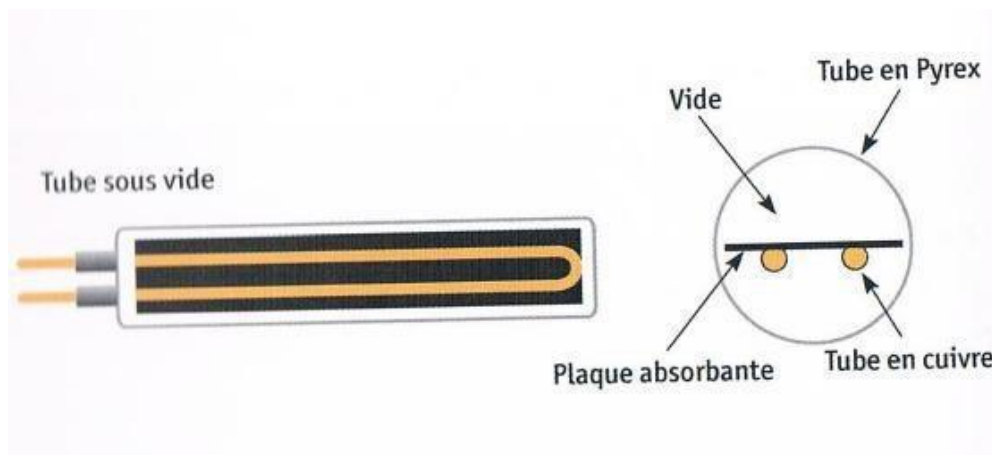


Figure (II.4) : les capteurs à tubes sous vide

II.7. Les capteurs à concentration

Ces capteurs utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-paraboliques pour concentrer les rayons solaires respectivement dans le foyer ponctuel ou dans le foyer linéaire de ces surfaces. Dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbeurs) qui captent la chaleur solaire ainsi concentrée. Naturellement ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil [20].

II.7.1. Capteur cylindro-parabolique

C'est un capteur à concentration à foyer linéaire utilisant un réflecteur cylindrique de section parabolique, (figure II.5). Les miroirs cylindro-paraboliques alignés concentrent la chaleur. Le circuit du fluide caloporteur passe au centre de chaque miroir et traverse l'ensemble du champ de capteurs. [21].



Figure (II .5) : Capteur cylindro-parabolique

II.7.2. Capteur parabolique

Les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome. Ils suivent le soleil sur deux axes afin de concentrer le rayonnement solaire sur le foyer de la parabole réfléchissante ,(figure II.6).[21]

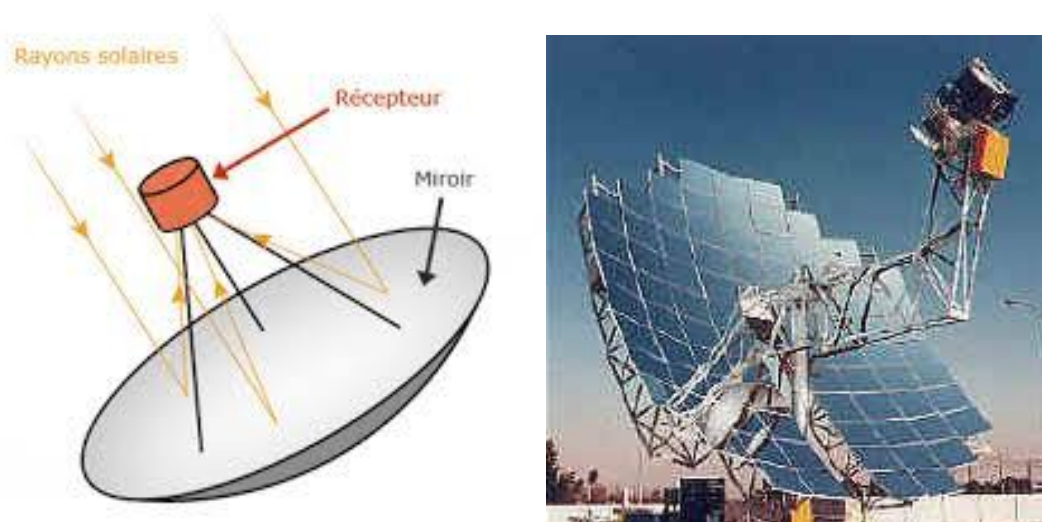


Figure (II.6) : Schéma d'un capteur à concentration type parabolique.

II.7.3. Centrale solaire à tour (Cheminé solaire)

Son fonctionnement se base sur un principe simple : l'air chaud étant plus léger que l'air froid, il s'élève. Une serre gigantesque, le « collecteur », placée tout autour de la cheminée centrale, chauffe l'air grâce au soleil et provoque un vent puissant exploité par des turbines situées à l'embouchure de la cheminée pour produire de l'électricité, (figure II.7).

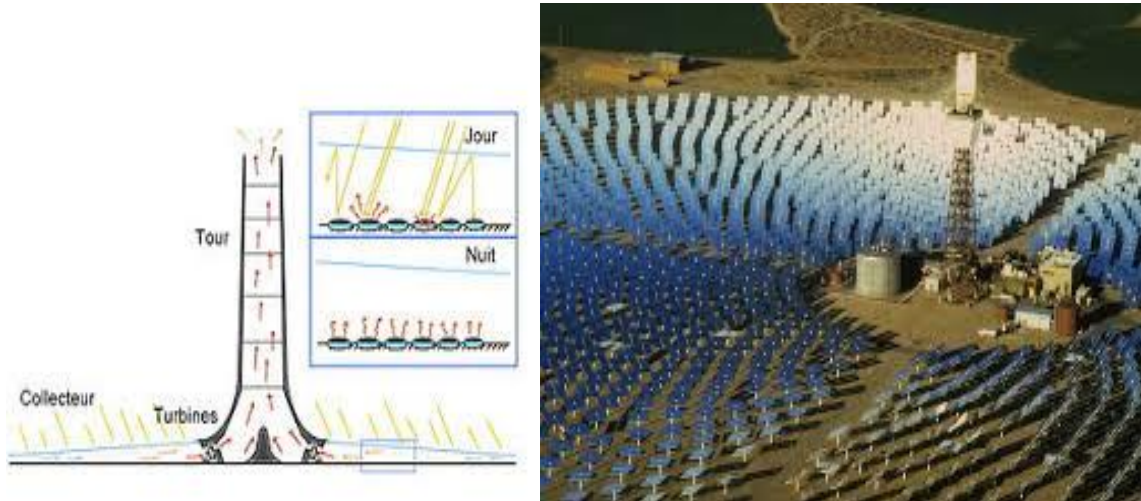


Figure (II.7) : Centrale solaire à tour

II.8. Les constituants d'un capteur plan vitré

Un capteur plan vitré est constitué par cinq éléments principaux :

II.8.1. Le coffre

Le coffre fabriqué couramment en aluminium ou en bois, enferme l'absorbeur et l'isolation thermique du capteur, les protégeant ainsi contre l'humidité et les détériorations mécaniques.

II.8.2. L'isolation thermique

L'absorbeur doit transmettre l'énergie captée au fluide caloporteur en évitant les pertes thermiques par conduction, convection et par rayonnement, des différentes parties périphériques vers l'extérieur. Les solutions adaptées sont les suivantes :

- **Partie avant de l'absorbeur**

La lame d'air située entre la vitre et l'absorbeur se comporte comme un isolant vis-à-vis de la transmission de chaleur par conduction. Cependant, si l'épaisseur de cette lame est trop grande, une convection naturelle intervient, d'où une perte d'énergie. Pour les températures

usuelles de fonctionnement du capteur plan, l'épaisseur de la lame d'air est de **2.5 cm**. En plaçant deux vitres, on limite les pertes dues à la réémission ainsi que les pertes par conduction et par convection [22].

- **Parties arrière et latérale**

Afin de limiter les pertes thermiques à la périphérie du capteur, on peut placer une ou plusieurs couches d'isolant qui doit résister et ne pas dégazer aux hautes températures, sinon, il faut s'attendre à voir apparaître un dépôt sur la face intérieure de la couverture. En plus d'utiliser un isolant pour minimiser les pertes thermiques on peut augmenter la résistance de contact entre la plaque, l'isolant et le coffre en évitant de presser ces surfaces les unes contre les autres car dans le cas d'une forte rugosité, il peut exister entre les deux faces en contact un film d'air qui empêche la chaleur de passer facilement par conduction [22-23].

II.8.3. La couverture transparente (vitrage)

C'est une surface faite d'un matériau transparent au rayonnement visible mais opaque au rayonnement I.R, permettant de réaliser un effet de serre.

Les couvertures transparentes habituelles sont pour la plupart en verre simple ou traité qui laisse passer jusqu'à 95% de la lumière grâce à leur faible teneur en oxyde de fer, mais on peut trouver aussi des produits de synthèse.

L'utilisation de la couverture transparente du capteur permet d'accroître son rendement et d'assurer des températures de plus de 70°C [24], en créant un effet de serre qui réduit les pertes thermiques vers l'avant de l'absorbeur, en effet :

Soit un capteur exposé au rayonnement solaire, sa couverture est transparente au rayonnement visible mais opaque aux rayonnements U.V et I.R. A la surface de la terre, le rayonnement solaire est composé de 42% de rayonnement visible qui va être transmis à l'absorbeur lequel en chauffant va réémettre du rayonnement I.R pour lequel la transmissivité de la vitre est faible ne pouvant ainsi s'échapper et qui sera en partie absorbé par la vitre qui s'échauffe et en partie réfléchi vers la plaque qui elle-même s'échauffe [22], [25].

L'utilisation de la couverture transparente évite le refroidissement de l'absorbeur par le vent.

II.8.4. Le fluide caloporteur

Le fluide est chargé de transporter la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température. Il est choisi en fonction de ses propriétés physiques et chimiques, il doit posséder une conductivité thermique élevée, une faible viscosité et une capacité calorifique élevée. Dans le cas des capteurs plans, on utilise l'eau comme fluide caloporteur.

II.8.5.L'absorbeur

L'absorbeur est l'élément central du capteur solaire concernant notre étude, il absorbe le rayonnement solaire global de courtes longueurs d'onde et le convertit en chaleur. Il est constitué d'une plaque à laquelle sont intégrés des tubes à travers lesquels circule le fluide caloporteur. Le matériau constituant la plaque de l'absorbeur peut être soit métallique soit en matière plastique laquelle est utilisée uniquement dans le cas où un milieu agressif circule directement dans l'absorbeur comme le cas de l'eau d'une piscine. L'emploi des matières plastiques entraîne des différences notables comparées aux métaux [26]

➤ **Les avantages sont :**

- La légèreté.
- La possibilité de teinter le produit dans la masse et donc de ne pas craindre les rayures.
- La faible sensibilité des plastiques à la corrosion.

➤ **Les inconvénients sont :**

- Une mauvaise conductibilité thermique.
- Un vieillissement dû au rayonnement U.V.
- Une tenue médiocre aux températures élevées.

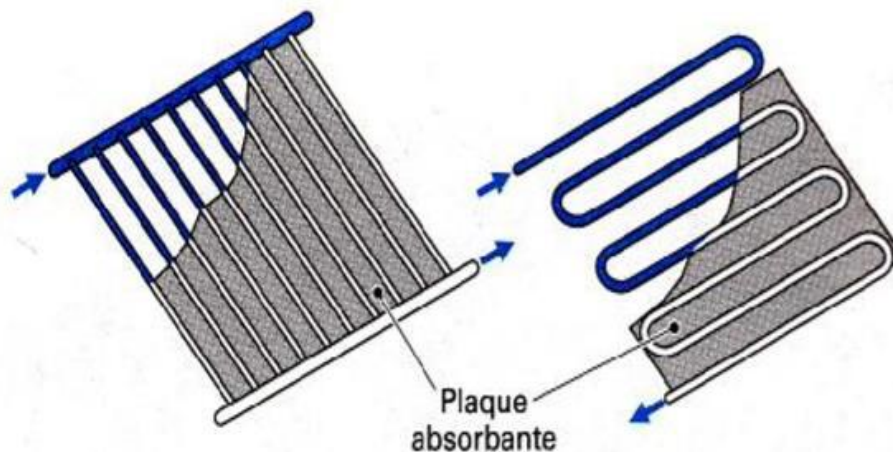


Figure (II.8) : Les plaques absorbantes d'un capteur plan

Dans le cas des métaux on utilise le cuivre, l'acier inoxydable, ou bien l'aluminium, qui ont des bonnes conductibilités thermiques.

L'absorbeur ne doit pas être trop mince. En pratique, on emploie généralement une feuille de cuivre ou d'aluminium de **0.2 mm** d'épaisseur avec des variantes de 0.15 à 0.3 mm .

Les tubes contenant le fluide caloporteur ne doivent pas être trop espacés ; ainsi, La transmission de la chaleur de l'absorbeur vers le fluide caloporteur se fait plus efficacement. Dans la pratique, on choisit généralement un intervalle de **100 à 120 mm entre les tubes**. Cela représente un compromis entre une évacuation optimale de la chaleur, une faible inertie thermique et une utilisation réduite des métaux tout en préservant des coûts de fabrication bas.

Il est fortement nécessaire d'assurer un bon contact entre les feuilles de l'absorbeur et les tubes du fluide caloporteur afin de réduire le plus possible la résistance thermique de contact [27].

En général, un absorbeur efficace a une bonne absorptivité ainsi que sa faible émissivité.

Cependant, les surfaces métalliques tendent à réfléchir la lumière d'où une perte d'énergie. Pour résoudre ce problème, les surfaces métalliques doivent être enduites d'une surface sélective qui d'une part absorbe le rayonnement solaire de courtes longueurs d'onde avec un rendement élevé et le transforme en I.R par l'effet de décalage de Wien et qui, d'autre part ne perd que très peu d'énergie grâce à son état de surface qui agit comme un piège vis-à-vis du rayonnement I.R ($\epsilon < 0.15$, $\alpha > 0.9$). Cette surface n'est considérée comme surface noire que pour la lumière solaire, pour les I.R elle agit comme un miroir [26].

II.9.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé une étude et une recherche générale sur l'utilisation de l'énergie solaire, nous avons montrés que l'utilisation de l'énergie solaire est divisée en plusieurs sujets, compris leur utilisation dans le domaine de la production d'énergie thermique et le chauffage de l'eau et les chauffages des bâtiments ainsi que leur utilisation dans la production d'électricité. Dans la deuxième partie, nous avons étudiés l'élément le plus important de l'exploitation de l'énergie solaire qui est le capteur solaire où on a résumé quelques types de capteurs solaires



Etude Théorique et Numérique

PARTIE I : ETUDE THEORIQUE

III.1.RAPPELS SUR LES TRANSFERTS DE CHALEUR

La thermodynamique permet de prévoir la quantité totale d'énergie qu'un système doit échanger avec l'extérieur pour passer d'un état d'équilibre à un autre. La thermique (ou thermocinétique) se propose de décrire quantitativement (dans l'espace et dans le temps) l'évolution des grandeurs caractéristique du système, en particulier la température, entre l'état d'équilibre initial et l'état final.

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température par conduction des hautes vers les basses températures. La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'aire de la surface isotherme est appelée densité de flux de chaleur [28].

III.2.Les modes de transfert thermique

Dans notre étude, nous allons étudier un capteur solaire plan incliné avec un angle β de l'horizontale dans la région de M'sila.

La (figure III.1) représente ce modèle de capteur solaire qui met en jeu simultanément les trois modes de transfert thermique, conduction, convection et rayonnement.

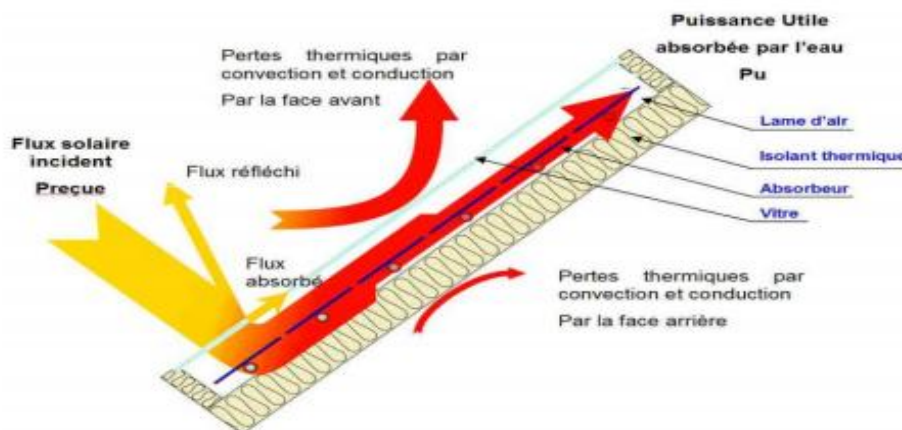


Figure (III.1) : Les différents échanges thermiques dans un capteur plan

III.2.1.La conduction

La conduction est le mode de transfert de chaleur caractérisé par la propagation de l'énergie thermique dans un milieu matériel sans déplacement de la matière. La loi

correspondant à ce processus de diffusion thermique est la loi de Fourier donnée par la relation :

$$\varphi_{cd} = -\lambda \cdot S \cdot \text{grad}T \quad (\text{III.1})$$

φ_{cd} : Flux de chaleur (W).

λ : Coefficient de conductivité thermique (W/m.K).

S : Surface d'échange (m²).

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

- Les faces supérieures et inférieure de la vitre hdv.
- Les faces supérieures et inférieure de l'isolant hdis.
- L'absorbeur et l'isolant hdai.

Le flux de chaleur échangé par conduction entre deux faces d'un élément j est donné par :

$$\varphi_d = \frac{T_{j2} - T_{j1}}{R_j} \quad (\text{III.2})$$

R_j : est la résistance thermique de l'élément j exprimés par :

$$R_j = \frac{e_j}{s_j \cdot \lambda_j} \quad (\text{III.3})$$

φ_d : Quantité de chaleur échangée par conduction entre l'absorbeur et l'isolant.

T_{j1} : Température de la face 1 .

T_{j2} : Température de la face 2.

λ_j : conductivité thermique de l'élément j

e_j : épaisseur de l'élément et S_j est sa surface.

III.2.2.La convection thermique

La convection (thermique) désigne le transfert d'énergie thermique au sein d'un fluide en mouvement ou entre un fluide en mouvement et une paroi solide [29] .

On distingue deux types de convection :

III.2.2.1.La convection forcée

Le mouvement du milieu est engendré par un dispositif externe (le vent, une pompe, un ventilateur...etc.).

III.2.2.2.La convection naturelle

Le mouvement du fluide est engendré par les variations de densité causées par des variations de température au sein du fluide.

Le transfert thermique convectif entre une paroi solide et le fluide est régi par la loi de Newton [29]:

$$\varphi_{cv} = h \times s(T_p - T_f) \quad (\text{III.4})$$

φ_{cv} : Le flux échangé par convection.

h : Coefficient de convection.

s : Surface de la paroi solide en contact avec le fluide.

T_p : Température de la paroi solide.

T_f : Température du fluide avant son contact avec le solide.

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

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

a) Échanges thermiques par convection au niveau de l'absorbeur

➤ Le flux de chaleur échangé par convection entre l'absorbeur et le vitrage est donné par:

$$\varphi_{c12} = h_{c12} \times S_a (T_a - T_v) \quad (\text{III.5})$$

T_a : Température de l'absorbeur. (°K).

T_v : Température de la vitre. (°K).

S_a : Surface de l'absorbeur. (m²).

h_{c12} : Coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre et l'absorber est donné par:

$$h_{c12} = Nu \frac{e}{\lambda_{air}} \quad (III.6)$$

e : Épaisseur de la lame d'air entre la vitre et la plaque absorbante (m).

λ_{air} : Conductivité thermique de l'air W/ (°K m).

Parmi les nombreuses corrélations donnant le nombre de Nüsselt Nu;, calculé pour diverses inclinaisons β et différentes valeurs du nombre de Grashof Gr, celle retenue pour $0^\circ < \beta < 75^\circ$ est la corrélation de Hollands [30] :

$$Nu_u = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708}{Ra_a \cdot \cos(\beta)} \right] \cdot \left[\frac{1 - 1708 (\sin(1.8 \cdot \beta))^{1.6}}{Ra_a \cdot \cos(\beta)} \right] + \left[\frac{Ra_a \cdot \cos(\beta)}{5830} - 1 \right]^{1.3} \quad (III.7)$$

Dans cette expression Ra est le nombre de Rayleigh

Pour $\beta > 75^\circ$, la corrélation utilisée [35] s'écrit :

$$Nu = (Gr/4085)^{0.3}$$

b) Coefficient d'échange convectif extérieure entre la vitre ou l'isolant et l'air ambiant.

Cet échange traduit l'effet du vent sur une plaque plane (face de la vitre ou de l'isolant).

Plusieurs corrélations sont à notre disposition. La majorité des auteurs utilisent celle de Hottel et Woertz .

$$hc = 5.67 + 3.86 \cdot V \quad (III.8)$$

V est la vitesse du vent (m.s⁻¹)

III.2.3. Transfert de chaleur par rayonnement

Le transfert de chaleur par rayonnement a lieu lorsque de l'énergie sous forme des ondes électromagnétiques est émise par une surface et absorbée par une autre. Le flux de chaleur radiatif échangé entre deux surfaces grises, diffusantes de température T1 et T2 d'air respectivement S1 et S2 de coefficient de transmission ε1 et ε2 est donnée par la loi Stefan-Boltzmann [27]:

$$\varphi_{1-2} = F_{1-2} \cdot \sigma (T_1^4 - T_2^4) = h_r \cdot (T_1 - T_2) \tag{III.9}$$

σ : Constante de Stefan-Boltzmann évaluée à 5,6.10⁻⁸ (W/m².K⁴).

où

$$F_{1-2} = \left(\frac{1 - \epsilon_1}{\epsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \frac{1 - \epsilon_2}{\epsilon_2} \cdot \frac{s_1}{s_2} \right)$$

F₁₋₂ est le facteur d forme gris et **F₁₂** le facteur de forme géométrique.

F12 égal à l'unité pour deux surfaces de dimension assez grandes par rapport à la distance qui les sépare.

Le coefficient d'échange radiatif **hr** correspondant aux échanges entre deux plans parallèles en regard est donné par la relation suivant:

$$h_r = \frac{\sigma(T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)}{\left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1\right)} \tag{III.10}$$

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

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

Le flux de chaleur échangé par rayonnement entre l'absorbeur et le vitrage est donné par

L'équation (III.11):

$$h_{r2} = \frac{\sigma (T_v + T_a)(T_a^2 + T_v^2)}{\frac{1}{\epsilon_a} + \frac{1}{\epsilon_v} - 1} \tag{III.11}$$

ϵ_a, ϵ_v : sont respectivement les émissivités de l'absorbeur et du vitrage.

σ : Constante de Stéphane Boltzmann : $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}^4)$

Le coefficient d'échange par rayonnement entre le vitrage et le ciel est donné par :

$$h_{r1} = \epsilon_v \sigma (T_{\text{ciel}} + T_v) (T_v^2 + T_{\text{ciel}}^2) \quad (\text{III.12})$$

T_{ciel} : température du ciel ($^{\circ}\text{K}$) est donnée par:

$$T_{\text{ciel}} = 0.0552 T_{\text{am}}^{1.5} \quad (\text{III.13})$$

III.3.Échanges thermiques au niveau de la vitre et de l'absorbeur

Le flux de chaleur absorbé par la vitre est donnée par:

$$\phi_v = \alpha_v S_v I_G \quad (\text{III.14})$$

α_v : Coefficient d'absorption de la vitre.

S_v : Surface de la vitre (m^2).

I_G : Éclairement global incident sur le plan incliné du capteur plan. (W/m^2)

Le flux de chaleur absorbé par l'absorbeur est donnée par:

$$\phi_a = \alpha_a \tau_v S_a I_G \quad (\text{III.15})$$

α_a : Coefficient d'absorption de l'absorbeur.

τ_v : coefficient de transmission du vitre

III.4.Perte globale d'énergie

Les pertes thermiques sont dues à la différence de température entre l'absorbeur et le milieu ambiant. Elles se manifestent selon les trois modes de transfert de chaleur. Elles se divisent en trois catégories: les pertes vers l'avant, les pertes vers l'arrière et les pertes latérales.

III.5.ANALOGIE ELECTRIQUE

Pour citer les équations de transfert nous avons utilisé l'analogie électrique (loi d'Ohm et de Kirchhoff).

D'une façon générale, la densité de flux de chaleur q entre un point de température T1 et un point de température T2 peut s'écrire ce la forme:

$$q = h \cdot (T2 - T1) = \frac{T1 - T2}{R} \tag{III.16}$$

Cette expression est formellement semblable à la loi d'Ohm ($I = \frac{V1 - V2}{R}$) et autorise

l'analogie suivante entre les grandeurs thermiques et électriques :

Tableau (III.1) : Analogie du système thermique au modèle électrique

Système thermique			Modèle électrique		
Paramètre	Symbole	Unité	Paramètre	Symbole	unité
Température	T	K	Potentiel	V	Volet
Flux de chaleur	φ	W	Intensité	I	Ampères
Résistance thermique	R	k/w	Résistance électrique	R_e	Ω
Capacité	Cp	j/k	Capacité électrique	C	Farad

Cette façon de procéder permet de représenter les échanges de chaleur par un schéma électrique auquel on peut appliquer la loi d'Ohm et de Kirchhoff (Fig. III.2) et (Fig. III.3) pour calculer les températures (Ta, Tv, Tis) de chaque composante de notre capteur et les coefficients d'échange thermique par conduction par rayonnement et par convection .

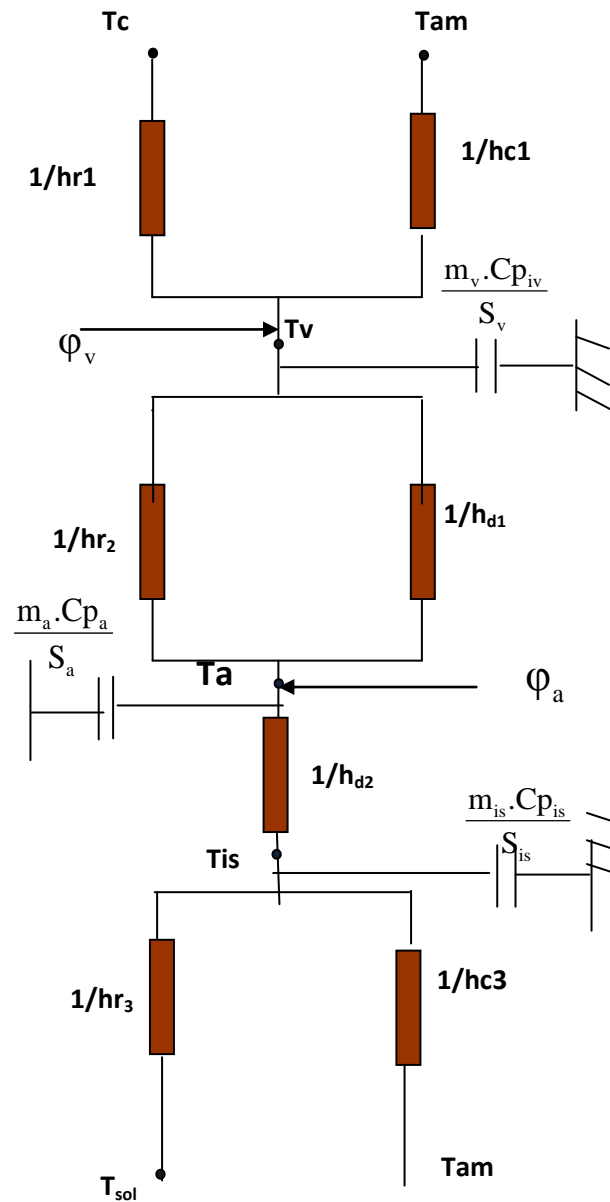


Figure (III.2) : Circuit électrique équivalent relative à un capteur solaire plan vitré

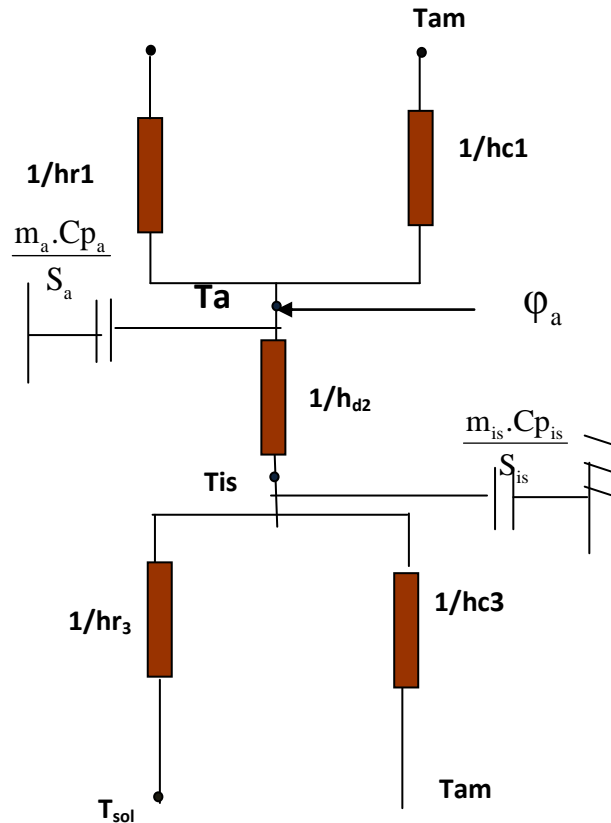


Figure (III.3) : Circuit électrique équivalent relative à un capteur solaire plan non vitré

III.6. Bilan thermique d'un capteur solaire plan vitré en régime transitoire

On peut citer les équations de transfert pour un capteur vitré et non vitré à l'aide de l'analogie électrique présentée dans les figures (III.2) et (III.3).

Le bilan total qui donne le comportement thermique du capteur, et qui fournit les températures de l'absorbeur, de la vitre et de l'isolant est donné par le système d'équations différentielles ordinaires non linéaires suivant:

➤ Pour la vitre

$$\frac{m_v \cdot C_{pv}}{s_v} \frac{dT_v}{dt} = \phi_v + h_{d1}(T_a - T_v) + h_{r2}(T_a - T_v) + h_{c1}(T_{amb} - T_v) + h_{r1}(T_{ciel} - T_v) \quad (III.17)$$

Tel que :

$$\varphi_v = \alpha_v \cdot I_G \quad \text{est la puissance absorbée par le vitre (W/m}^2\text{)}$$

➤ **Dans l'absorbeur :**

$$\frac{m_a \cdot C_{pa}}{s_a} \frac{dT_a}{dt} = \varphi_a + h_{r2}(T_v - T_a) + h_{d2}(T_{is} - T_a) + h_{d1}(T_v - T_a) \quad \text{(III.18)}$$

Tel que :

$$\varphi_a = \alpha_a \cdot \tau_v \cdot I_G \quad \text{est la puissance absorbée par l'absorbeur (w/m}^2\text{)}$$

➤ **Pour isolant**

$$\frac{m_{is} \cdot C_{pis}}{s_{is}} \frac{dT_{is}}{dt} = h_{d2} \cdot (T_a - T_{is}) + h_{c2} \cdot (T_{amb} - T_{is}) + h_{r3} \cdot (T_{sol} - T_{is}) \quad \text{(III.19)}$$

Tel que :

m_v, m_a, m_{is} : masses respectives de la vitre, l'absorbeur et l'isolant .

C_{pv}, C_{pa}, C_{pis} : chaleurs massiques respectivement de la vitre, l'absorbeur et l'isolant

III.7. Bilan thermique du capteur solaire plan non vitre en régime transitoire

➤ **Pour l'absorbeur**

$$\frac{m_a \cdot C_{pa}}{s_a} \frac{dT_a}{dt} = \varphi_a + h_{d2} \cdot (T_{is} - T_a) + h_{c1} \cdot (T_{amb} - T_a) + h_{r4} \cdot (T_{ciel} - T_a) \quad \text{(III.20)}$$

➤ **Pour l'isolant**

$$\frac{m_{is} \cdot C_{pis}}{s_{is}} \frac{dT_{is}}{dt} = h_{d2} \cdot (T_a - T_{is}) + h_{c2} \cdot (T_{amb} - T_{is}) + h_{r3} \cdot (T_{sol} - T_{is}) \quad \text{(III.21)}$$

III.8. Rendement optique

Il est défini comme étant le rapport entre l'énergie absorbée par la plaque absorbante et l'énergie solaire incidente.

$$\eta = \frac{\varphi_a}{I_G} \quad \text{(III.2)}$$

PARTIE II : ETUDE NUMERIQUE

III.9.PRINCIPE DE SIMULATION

Le système d'équations (III.17-III.21) peut être discrétisé par la méthode des différences finies et résolu numériquement par les méthodes itératives.

La simulation numérique est un outil qui convient parfaitement à l'étude du comportement du modèle numérique caractéristique des systèmes réels. Le principe de cette simulation repose sur un découpage spatial et temporel fictif en un certain nombre des sections spatiales et des sections temporelles Δt .

Dans l'intervalle de temps t et $t+\Delta t$, la résolution des systèmes des équations expriment les bilans thermiques dans la répartition des températures relatives à chaque intervalle. Pour cela, nous avons élaboré un code de calcul numérique écrit en langage Fortran permet de calculer les paramètres essentiels de notre problème. Dans ce cas, nous avons utilisé les caractéristique des mesure (latitude, longitude, température ambiante, ...ect) concernant le site de M'sila pour calculer les puissances solaires, globale et les puissances absorbés par la vitre et l'absorbeur ainsi que les coefficients d'échanges thermiques et les températures du notre modèle du capteur solaire présenter dans le quatrième chapitre.

Pour cela, nous avons utilisé les méthodes itératives, parmi ces méthodes, nous avons choisi la méthode de Gauss Sidel. L'algorithme de calcul est présenté dans les figure.(III.4) et (III.5)

Organigramme N° 01

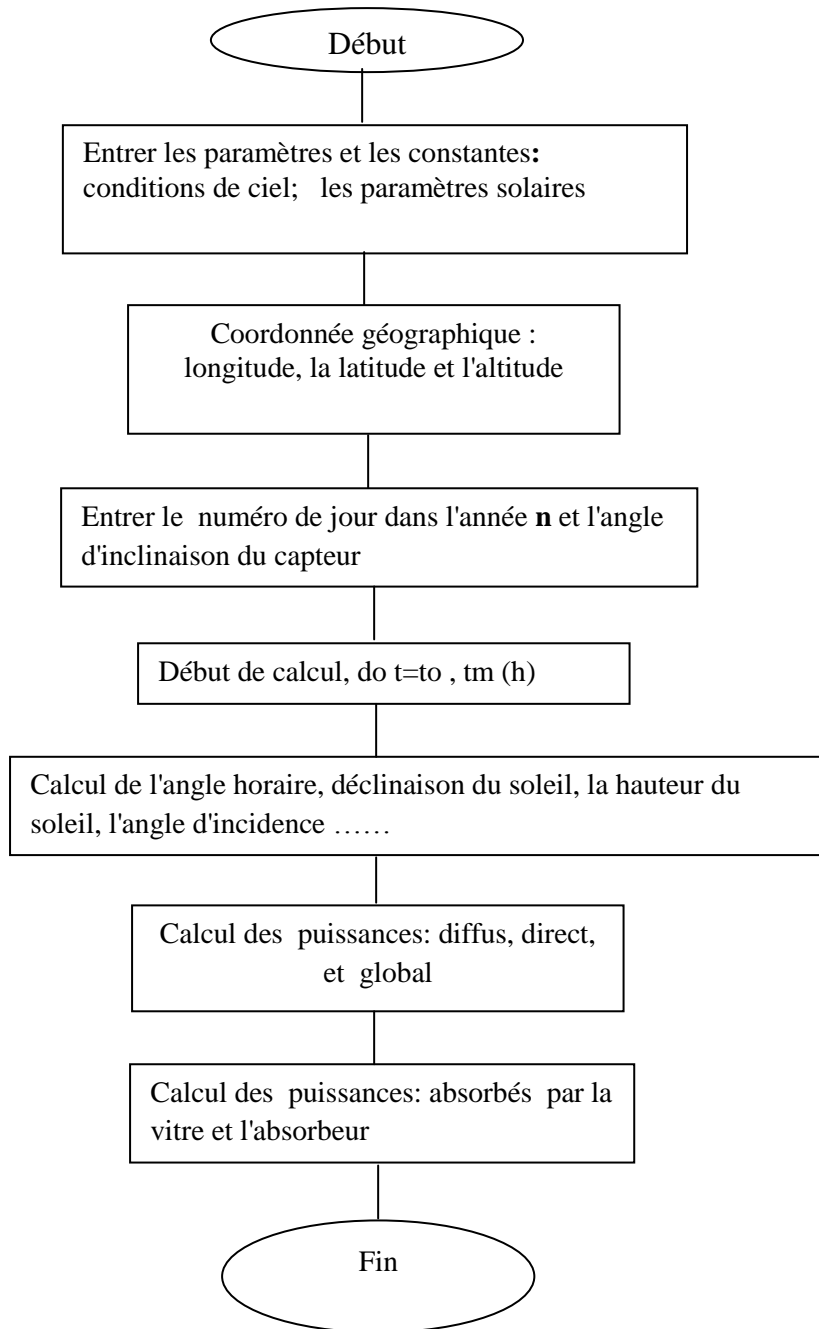


Figure (III. 4) : Organigramme de calculer les puissances solaires

Organigramme N° 02 :

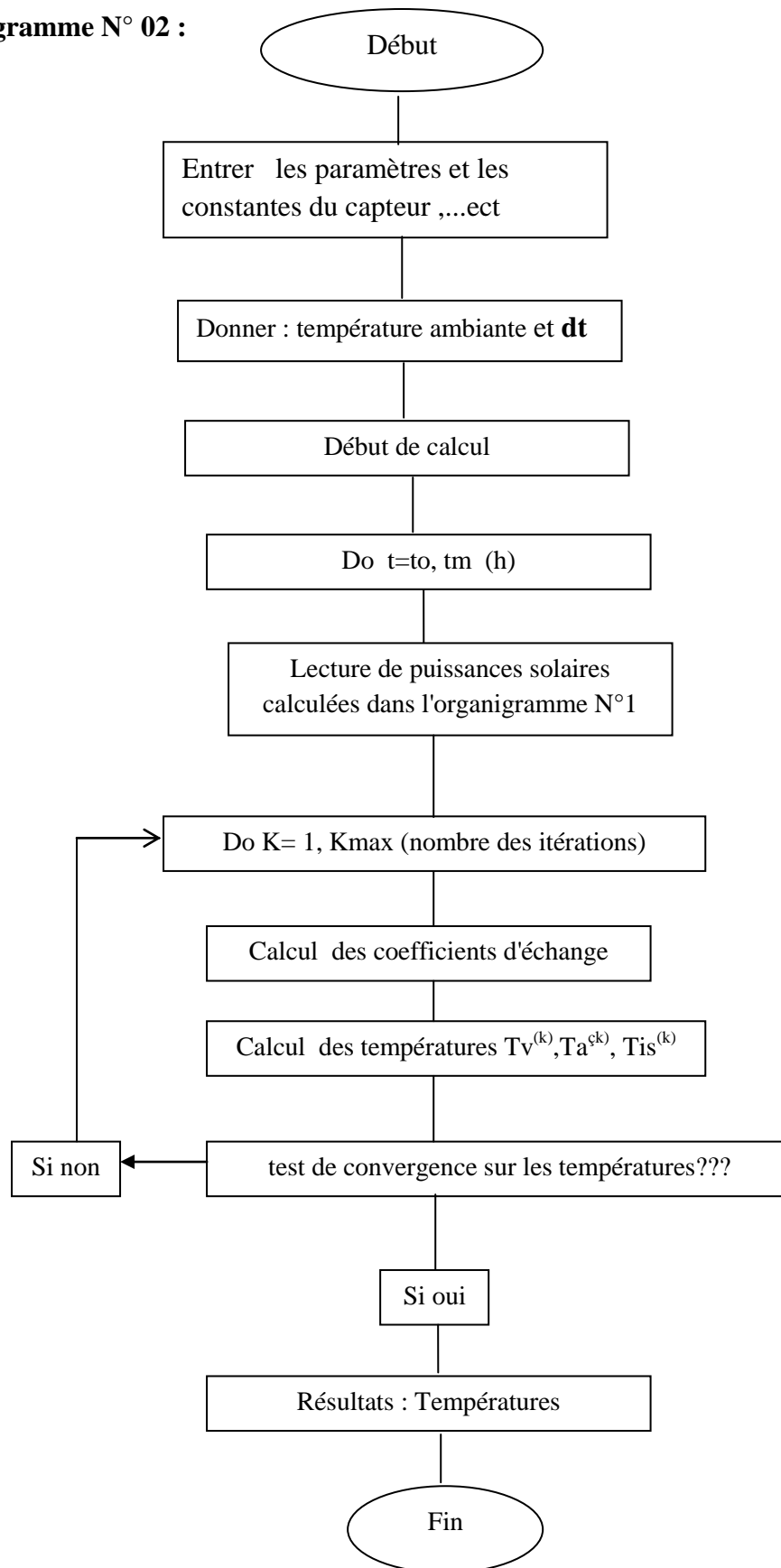


Figure (III. 5) : Organigramme de calcul des différentes températures du capteur

Résultats et Discussions

IV.1.INTRODUCTION

Ce chapitre est consacré à l'exposer des résultats expérimentales et numériques obtenus sur l'absorbeur d'un capteur plan dans la région de M'Sila.

Les résultats numériques ont été obtenus à partir de la résolution du système d'équations des bilans thermiques au niveau de chaque partie du capteur dans le chapitre III par les méthodes itératives de Gauss-Seidel et l'aide de notre code de calcul écrit en langage Fortran.

Les résultats expérimentaux ont été obtenus par une série de test des mesures sur les températures de la vitre et de l'absorbeur et la température ambiante par un thermomètre digitale à partir de 8h à 15h.

IV.2.Description du capteur plan étudié

Le capteur étudié est un capteur solaire plan conçu par nous-mêmes, Figure (IV.1).

- ✓ longueur du capteur $L=33\text{cm}$
- ✓ largeur du capteur $l=25\text{cm}$
- ✓ hauteur du capteur $h=9\text{cm}$
- ✓ Un absorbeur plat en acier galvanisé peint en noir mat ; d'épaisseur égale à 1mm
- ✓ l'écartement absorbeur -vitre égale à 1 cm
- ✓ l'isolation de la base en bois, d'épaisseur de 3 cm.



Figure (IV.1) : capteur solaire plan thermique.

L'expérience a été faite le 29 et le 30 Avril 2019 dans la ville de M'Sila des coordonnées

Géographiques suivants:

Latitude : 35°42' Nord

Longitude : 4°32' Est

Altitude : 477 m

Orientation du capteur : plein sud

Dans cette partie du mémoire, nous allons étudier l'effet de quelques paramètres opérationnels internes et externes sur la température de l'absorbeur et de la vitre du capteur solaire en régime transitoire vitré et non vitré.

IV.3.Calcul des rayonnements solaires

La figure (IV.2) montre la variation horaire des rayonnements solaires global, directe et diffus calculés numériquement pour un angle d'inclinaison $\beta=30^\circ$ ($n_j=119$) où le capteur est orienté directement vers le sud.

On observe que les rayonnements ont des grandes valeurs à 13h car la hauteur du soleil atteint le maximum à ce moment dans tous les numéros des jours dans l'année et les rayonnements solaires deviennent presque perpendiculaires à la surface du capteur. On outre, Il est clair que la région peut disposer d'importantes quantités d'énergie pouvant être exploitée, notamment entre 9h et 16h.

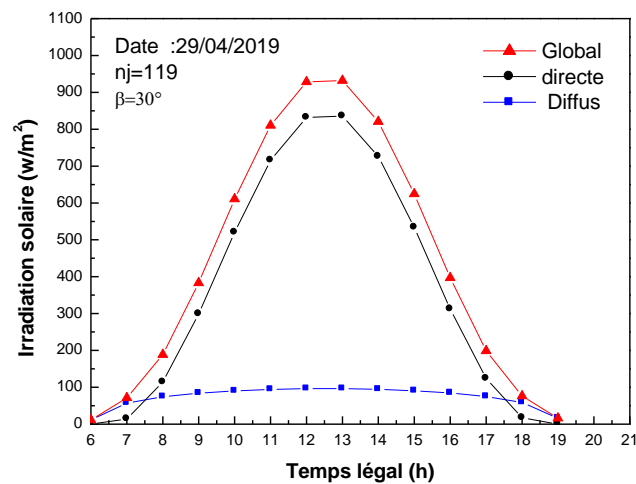


Figure (IV.2):Evolution temporelle des rayonnements solaires.

IV.4.Variation temporelle du rayonnement solaire saisonnier

Le rayonnement solaire globale pour des différents jours de l'année pour trois saisons (le solstice d'été et d'hiver et l'équinoxe du printemps) sur un plan incliné d'un angle $\beta=30^\circ$ est présenté dans la figure (IV.3).

On remarque aussi que le maximum du rayonnement global est remarquable à 13h dans toutes les saisons comme il est expliqué dans le paragraphe précédent. Pendant le solstice d'été le rayonnement atteint un maximum de l'ordre de 1000 w/m^2 mais pendant l'hiver décroît et atteint un maximum de 500 W/m^2 qui est due à la déclinaison du soleil.

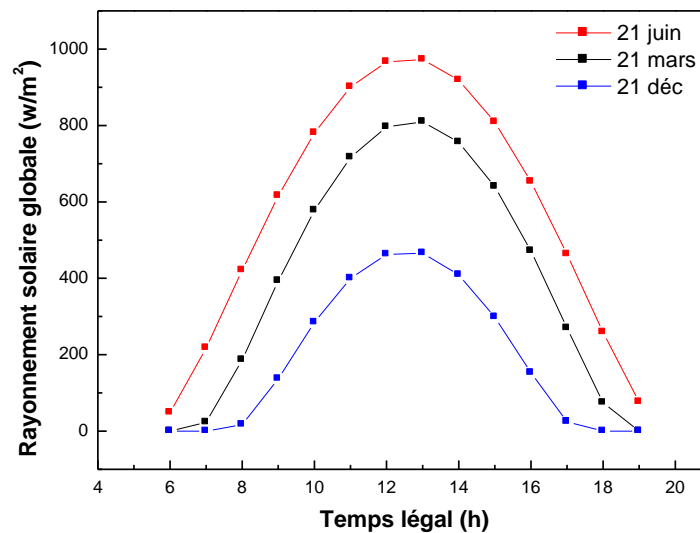


Figure (IV.3): Rayonnement solaire globale pour des différents jours dans l'année.

IV.5.Variation temporelle de rayonnement globale absorbé par la vitre et l'absorbeur

Le figure (IV.4) illustre la variation temporelle du rayonnement global et des rayonnements absorbés par l'absorbeur (la plaque noire) et par la vitre du capteur pour un angle d'inclinaison $\beta=30^\circ$.

On observe que le maximum des ces rayonnements est à 13 h et on remarque aussi que la plaque noire (l'absorbeur) du capteur absorbe une quantité considérable de l'irradiation solaire à cause de sa grande coefficient d'absorption. Une faible proportion du flux est absorbée par la vitre et le reste est dissipé par réflexion vers l'ambiante et le plus grande partie du flux transmise à la plaque absorbante.

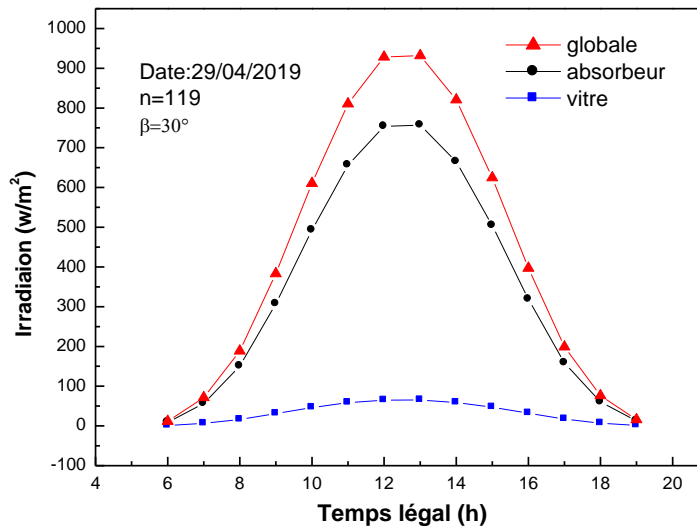


Figure (IV.4): Evolution temporelle de rayonnement globale et le rayonnement absorbé par la vitre et l'absorbeur.

IV.6.Effet de l'angle d'inclinaison du capteur

La figure (IV.5.a) et (IV.5.b) représente les effets de l'inclinaison du capteur par rapport à l'horizontale sur les rayonnements solaires absorbés par l'absorbeur.

On effet, l'angle d'incidence du rayonnement solaire arrive à la surface du capteur est dépends par l'angle d'inclinaison du capteur par rapport à l'horizontale. On remarque ici que pour $\beta=30^\circ$ qui correspondent à la valeur maximale (l'angle optimal) la plaque noir absorbe une grande quantité des rayonnements ainsi que sa température augmente comme il est indiqué dans la (Fig. VI.5.b). On rappel que l'angle d'inclinaison optimale varié selon le mois dans l'année.

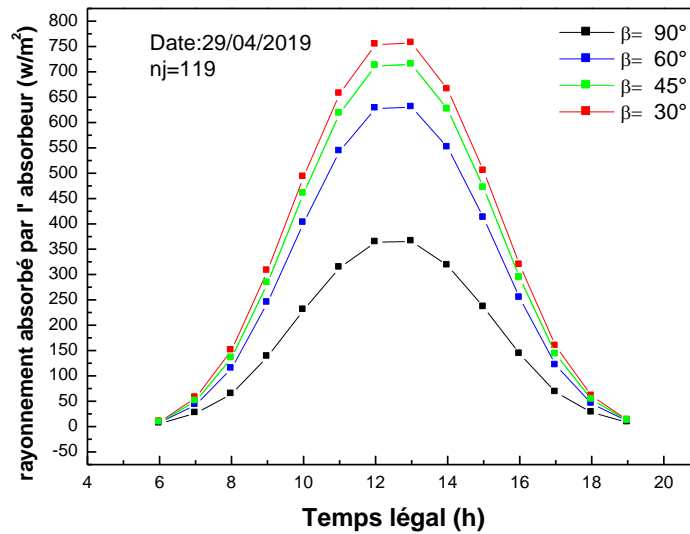


Figure (IV.5.a): Evolution temporelle des rayonnements absorbés par l'absorbeur pour des différents angles d'inclinaison.

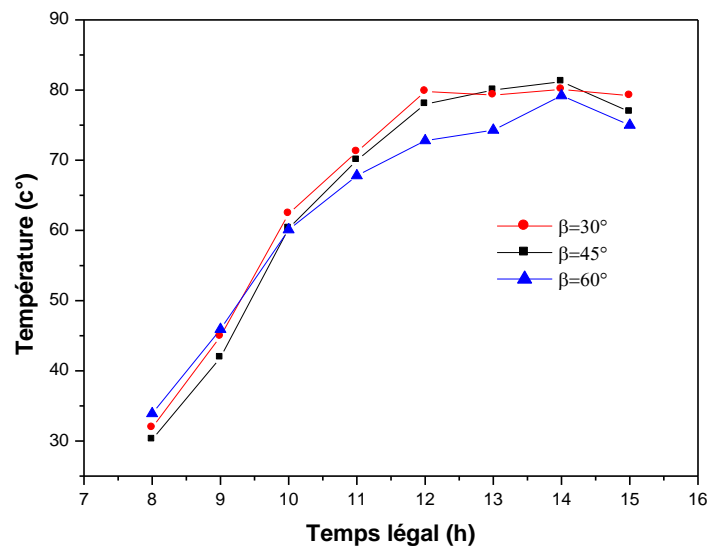


Figure (IV.5.b): variation des températures expérimentales de l'absorbeur pour des différents angles d'inclinaison.

IV.7. Comparaison entre les résultats numériques et expérimentaux

Les figures (IV.6 et IV.7) représentent la comparaison entre les températures de la vitre et de l'absorbeur obtenues expérimentalement et numériquement. Ces figures nous montrent une bonne concordance entre les valeurs mesurées et celles obtenues par simulation numérique à part des quelques écarts de température qu'ils sont dû principalement pendant les mesures et aux pertes thermique et des erreurs induites par le calcul numérique.

Cette comparaison peut être prise en considération comme une validation pour notre code de calcul numérique.

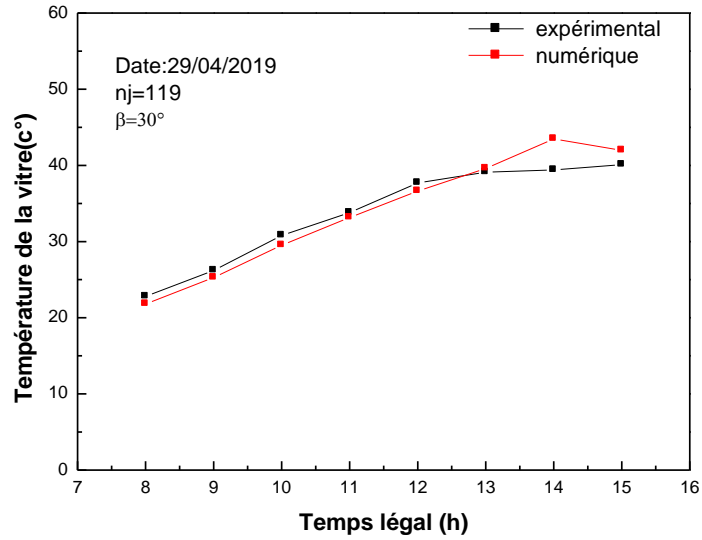


Figure (IV.6): Comparaison entre les températures de la vitre numérique et expérimentale.

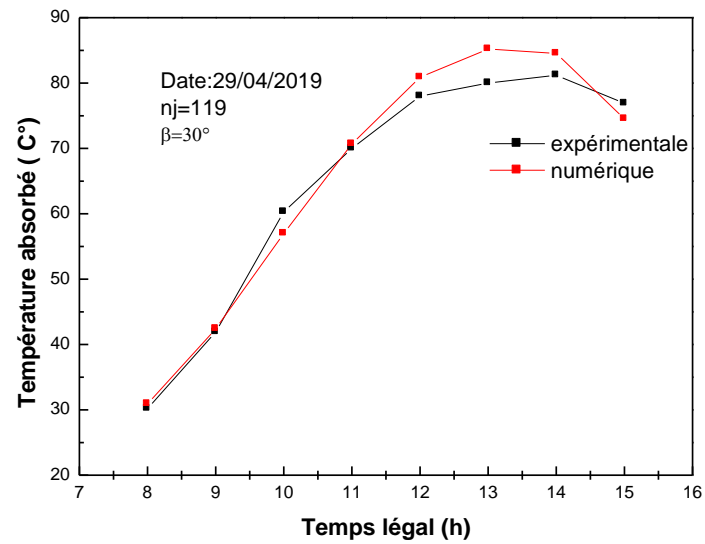


Figure (IV.7): Evolution temporelle de la température de l'absorbeur numérique et expérimentale.

IV.8. EFFET DE QUELQUES PARAMETRES INTERNES ET EXTERNES SUR L'ABSORBEUR

IV.8.1.Effet de la vitesse de vent

La figure (IV.8) montre l'effet de l'accroissement de la vitesse de vent sur la température de l'absorbeur du capteur. On remarque que plus la vitesse de vent est basse la température de l'absorbeur est élevée. En effet, l'augmentation de la vitesse du vent engendre une baisse de la température de la vitre par convection forcée qui conduit à un accroissement de l'écart entre la température de l'absorbeur et de la vitre ainsi, les pertes thermique entre la vitre et l'absorbeur augmentent.

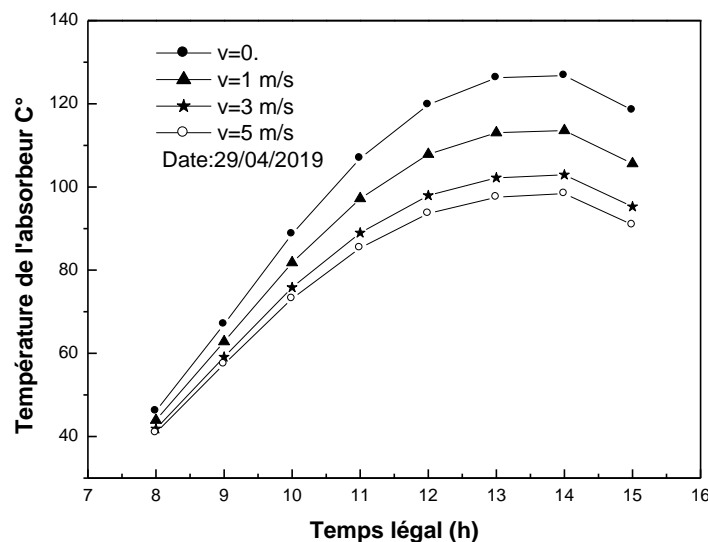


Figure (IV.8) : Variation de la température de l'absorbeur en fonction de la vitesse de vent.

IV.8.2.Effet du trouble atmosphérique

La figure (IV.9) nous permet de remarquer que le rayonnement solaire présente des valeurs optimales dans le cas d'un ciel pur ($a=0.87$, $b=0.17$), où une grande partie atteint le sol, pour des conditions atmosphériques normales. Par contre, cette partie devient moins importante, jusqu'à atteindre une faible partie dans le cas où l'atmosphère est polluée (cas des zones industrielles).

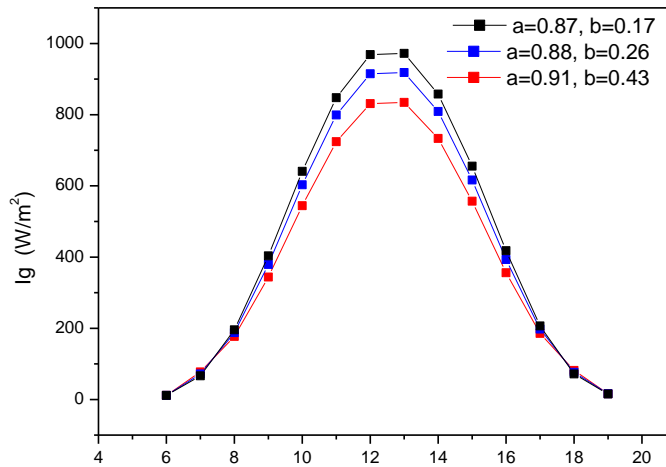


Figure (IV.9) Rayonnement solaire global en fonction du coefficient de trouble

IV.8.3.Effet du type de l'isolant

La figure (IV.10) représente la variation de la température de l'absorbeur temporelle pour des différents types d'isolant. En effet, la diminution de la conductivité thermique conduit à l'augmentation de la résistance thermique de l'isolant. On remarque que chaque fois que la valeur de la conductivité thermique de l'isolant est faible (bon isolant) plus que la température de l'absorbeur sera élevée, c'est parce que les pertes thermique entre l'absorbeur et le milieu extérieure diminue avec l'augmentation de la résistance de l'isolant.

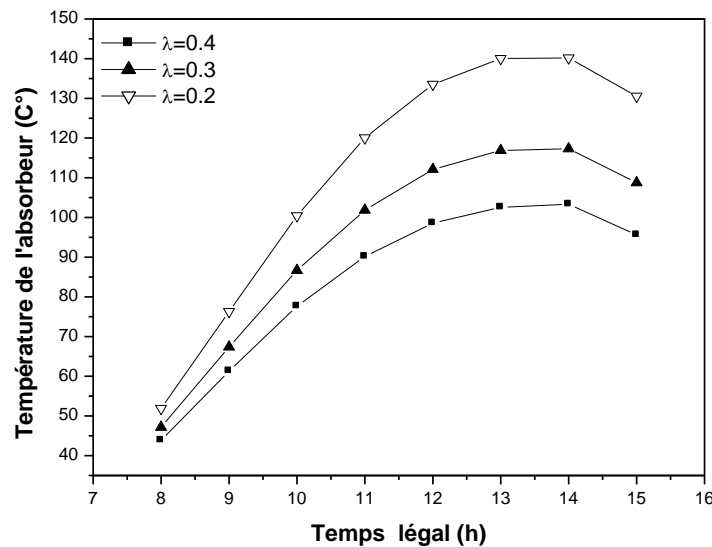


Figure (IV.10):Variation de la température de l'absorbeur pour des différents types des isolents.

IV.8.4.Effet de la couverture transparente

Parmi les séries des expériences et des études numériques effectués, nous avons fait un test sur un capteur solaire sans vitre pour savoir l'effet de la vitre sur celle ci et nous avons exposés les résultats de comparaison dans la figure (IV.11).

On note ici que la température de l'absorbeur d'un capteur vitré est plus élevée que la température de l'absorbeur d'un capteur non vitré et c'est parce que le vitrage permet de conserver le phénomène de l'effet de serre entre l'absorbeur et la vitre d'une part et d'autre part pour réduire les pertes thermiques entre l'absorbeur et l'ambiante.

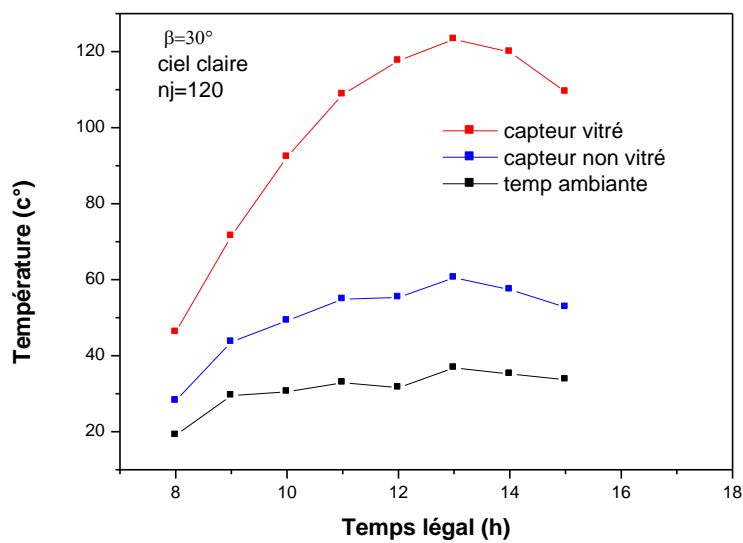


Figure (IV.11):comparaison des températures pour un capteur vitré et non vitré.

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de ce travail, nous avons présenté une étude expérimentale et numérique sur l'effet de quelques paramètres interne et externe sur l'absorbeur d'un capteur solaire plan en régimes transitoire sans fluide caloporteur.

Après une présentation de quelques données astronomiques concernant le gisement solaire, nous avons fait une recherche bibliographique sur les différents types des capteurs solaires, et une étude générale sur les différents types de transfert thermique qui nous permis de mettre en évidence la nature des échanges de chaleur qui interviennent dans la présente étude afin d'établir les équations gouvernants le comportement thermique de ce dispositif. Cette étude admet de suivre l'évolution de la température des différents constituants du capteur soumis à l'ensoleillement journalier.

La résolution du système d'équations discrétisées par la méthode des différences finies a été abordée par une approche numérique basée sur les méthodes de Gauss-Seidel, ainsi, sur le logiciel de calcul en langage Fortran. Ce modèle numérique permet de calculer l'évolution des composants du rayonnement solaire et de la température des différents éléments du système en fonction de la température ambiante mesurée.

Les résultats obtenus mettent en évidence certains paramètres influençant sur l'intensité du rayonnement solaire et la température de la plaque absorbante et de la vitre. La température de la plaque absorbante (absorbeur) est la plus élevée. Ceci peut être justifié par son pouvoir d'absorption qui est important pour le rayonnement solaire.

La modélisation mathématique basée sur la méthode des bilans globaux des énergies, prend en compte les conditions initiales associées au capteur.

Les résultats expérimentaux et numériques obtenus montrent que :

- La puissance solaire globale, la température de l'absorbeur et de la vitre passent par un maximum à 13h (temps local) dans tous les jours et dans toutes les saisons;
- Dans la date d'expérience (29 Avril), l'angle d'inclinaison optimale du capteur doit être fixé entre 30° et 45° pour l'obtenir une grande puissance absorbé par la plaque noir ;
- L'augmentation de la vitesse du vent diminue rapidement la température de la vitre et de l'absorbeur.

- Pour diminuer les pertes thermiques au dessous du capteur, l'isolant utilisé doit être de faible conductivité thermique.
- La couverture transparente joue un rôle très important dans les capteurs solaires.

Certaines améliorations peuvent être proposées pour augmenter les performances du système, telles que:

- Choisir un absorbeur de meilleure qualité comme le cuivre ou l'aluminium.
- Il est préférable d'installer les capteurs solaires loin des effets du vent.

REFERENCES

- [1] **M. Capderou**, Atlas solaire de l'Algérie, Tome 1, Vol. 1 et 2 ; OPU, 1987.
- [2] **C. Fröhlich.**, World radiometric reference, World Meteorological Organization, Commission for instruments and methods of observation, report WMO 490, p 108-112, 1978
- [3] **M. Ghassemi, A. Cota, R. Foster** «Solar Energy: Renewable Energy and the Environment» 2010.
- [4] **D. Beikacern, F. Naima**, Energie solaire et capteur solaires, Centre universitaire de Béchar 2001.
- [5] **Ch., Perrin de Brichambaut; C, Vauge**. Le gisement solaire, Technique et Documentation, Paris. (1982).
- [6] **J, Bonal; P, Rossetti**. Les énergies alternatives, Omniscience. (2007).
- [7] **U, Eiker**. Solar technologies for buildings, John Wiley sans Sons, England. (2001).
- [8] **J, A, Duffie; W, A, Beckman**. Solar engineering of thermal processes, John Wiley and Sons. (1980)
- [9] **A, Mefti; M, Y, Bouroubi; H, Mimouni**. Evaluation du potentiel énergétique solaire, Bulletin des Energies Renouvelables, N°2, p 12, décembre. (2002).
- [10] **F.A. Peuser, K.H. Remmers, M. Schanauss**, installations solaires thermiques conception et mise en œuvre, (2005).
- [11] **O. Gergaud**, modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de Production éolien et photovoltaïque couple au réseau et associe a un accumulateur, *école normale supérieure de Cachan, France, (2002)*.
- [12] **V. Quaschnig**, renewable energy and climate, (2010).
- [13] **<https://www.dictionnaire environnement.com/energie solaire thermique ID 1376. Html3>**
- [14] **M. Amjahdi, J. Lemale** « Adopter le solaire –thermique et photovoltaïque ». DUNOD Paris 2011.
- [15] **K. Salima**, "Etude théorique et numérique des systèmes couples, distillateur plan capteur et distillateur hot box-capteur".Thèse de magister (2009).
- [16] **D. Ababsa**, Optimisation du rendement d'un capteur Solaire par minimisation des pertes convectives .Mémoire de Magistère, faculté des science-département de physique de Batna,(2010).
- [17] **A. Soteris, Kalogirou**, solar thermal collectors and applications, progress in energy and combustion science, (30) 231–295 (2004).

- [18] **G. Iordanou**, flat-plate solar collectors for water heating with improved heat transfer for application in climatic, thesis, university of Durham, (2009).
- [19] **Romaine Guillo, Ecosource**, Les Centrales Solaires à Miroir de fresnel.
- [20] **Quoilin Sylvain** Les Centrales Solaires à Concentration Université de Liège Faculté des sciences appliquées Mai (2007)
- [21] **Guehza Med lazhar**, impact de l'espace entre la vitre de protection et la vitre Intermédiaire sur le rendement du capteur plan à double vitrage, mémoire de magister Université de Ouargla.
- [22] **C. Voyant**, prédiction de séries temporelles de rayonnement solaire global et de production d'énergie photovoltaïque à partir de réseaux de neurones artificiels, thèse doctorat, université de Corse-Pascal Paoli, France, (2011).
- [23] **A, Sfeir ; G, Guarracino**. Ingénierie des systèmes solaires, Technique et Documentation, Paris. (1981).
- [24] **J, Bonal ; P, Rossetti**. Les énergies alternatives, Omniscience. (2007)
- [25] **J. Bernard**, Energie solaire calculs et optimisation, nouvelle édition, (2011)
- [26] **J, Bernard**. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [27] **A, Sfeir ; G, Guarracino**. Ingénierie des systèmes solaires, Technique et Documentation, Paris. (1981).
- [28] **S. Bekkouche**. "Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs". Solaires. Option « Electronique et Modélisation ». Thèse de doctorat. Université Abou-Bakr Belkaid – Tlemcen. (2008).
- [29] **J, P, Petit**. Techniques de l'ingénieur, notions de transferts thermiques par Convection, A1540. (1979).
- [30] **F, Kreith, J. F, Kreider**. Principles of solar engineering (Mc Graw Hill) (1978).
- [31] **B.,Devin**, Analyse Physique et expérimentale des capteurs plans en régime statique. Rapport C.E.A., 60 p. (1977).

ANNEXE

I. Résultats expérimentaux pour un capteur plan vitré pour différents angles d'inclinaison

	29/04/2019			
Orientation	Vers le sud			
Ciel	Clair			
Heurs	$T_{amb}(c^{\circ})$	$T_V(c^{\circ})$	$T_{ab}(c^{\circ})$	Angle d'inclinaison β
8	20.1	22.8	30.2	30°
9	22.1	26.2	41.9	
10	24.1	30.8	60.3	
11	25.2	33.8	70	
12	27.1	37.7	78	
13	29.7	39.1	80	
14	35	39.4	81.2	
15	34	40.1	76.9	

Date	29/04/2019			
Orientation	Vers le sud			
Ciel	Clair			
Heurs	$T_{amb}(c^{\circ})$	$T_V(c^{\circ})$	$T_{ab}(c^{\circ})$	Angle d'inclinaison β
8	20.1	23.9	31.9	45°
9	22.1	26.1	44.9	
10	24.1	31.9	62.4	
11	25.2	38	71.2	
12	27.1	37.2	79.8	
13	29.7	39.5	79.3	
14	35	41.8	80.4	
15	34	40.3	79.2	

Date	29/04/2019			
Orientation	Vers le sud			
Ciel	Clair			
Heurs	$T_{amb} (c^{\circ})$	$T_v (c^{\circ})$	$T_{ab}(c^{\circ})$	Angle d'inclinaison β
8	20.1	24	33.9	60°
9	22.1	30.2	45.9	
10	24.1	32.3	60.1	
11	25.2	33.5	67.8	
12	27.1	38.5	72.8	
13	29.7	38	74.3	
14	35	45	79.2	
15	34	40	75	

II. Résultats expérimentaux pour un capteur plan sans vitre pour différents angles d'inclinaison

Date	30/04/2019			Un peu de nuage et vent
Orientation	Vers le sud			
Ciel	Clair			
Heurs	$T_{amb} (c^{\circ})$	$T_{ab}(c^{\circ})$	Angle d'inclinaison β	
8	19.1	22.1	30°	
9	29.5	31.1		
10	30.5	45.		
11	32.9	48.7		
12	36.6	58.6		
13	31.8	62.4		
14	35.2	60.1		
15	33.7	52.5		

Date	30/04/2019			Un peu de nuage et vent
Orientation	Vers le sud			
Ciel	Clair			
Heurs	$T_{amb} (c^{\circ})$	$T_{ab}(c^{\circ})$	Angle d'inclinaison β	
8	19.1	27	45°	
9	29.5	31.8		
10	30.5	51.7		
11	32.9	49.8		
12	36.6	59.1		
13	31.8	66.2		
14	35.2	63.2		
15	33.7	53.7		

Date	30/04/2019			Un peu de nuage et vent
Orientation	Vers le sud			
Ciel	Clair			
Heurs	$T_{amb} (c^{\circ})$	$T_{ab}(c^{\circ})$	Angle d'inclinaison β	
8	19.1	25.3	60°	
9	29.5	31.3		
10	30.5	48.3		
11	32.9	49		
12	36.6	57.2		
13	31.8	55.4		
14	35.2	47.5		
15	33.7	46.6		

ملخص

خلال هذا العمل ، لقد قمنا بدراسة عددية و تجريبية لمجمع حراري شمسي بدون مانع بمدينة المسيلة وهذا لمعرفة مدى تأثير بعض العوامل الداخلية والخارجية على فعالية هذا اللوح الشمسي . وقد مكنت الدراسة النظرية من وضع المعادلات المختلفة التي تميز هذا النوع من المجمعات الحرارية الشمسية . تم تنفيذ الحل العددي للنموذج باستخدام رمز حساب مكتوب بلغة فورتران. المقارنة بين القيم المحسوبة والمتحصل عليها تجريبيا لدرجات حرارة كل من الغلاف الزجاجي والماص الحراري للمجمع الحراري الشمسي بدلالة عدة مقادير فيزيائية كسرعة الرياح وزاوية ميل اللوح ونوع العازل وحالة السماء مكنتنا من التحقق من صحة نموذج الحساب المقترح لدينا بالإضافة إلى معرفة المقادير التي تؤدي إلى تحسين كفاءة هذا اللوح أو المجمع الشمسي.

مفتاح الكلمات : الألواح الشمسية الحرارية ، الماص الحراري ، الطاقة الشمسية ، المجال الشمسي

SUMMARY

In this work, we presented a numerical and experimental study on a thermal solar collector without heat transfer fluid in the city of M'sila, in order to determine the effect of certain internal and external parameters on the efficiency of this solar panel. The theoretical study allowed developing the different equations characterizing this type of solar collectors.

The numerical solution of this model was done using a computer code in Fortran language. The comparison between the calculated and experimental results of the temperature of the glass and the absorber according to several physical parameters such as the wind speed, the angle of inclination, the type of insulation and the state of the sky we allowed to validate the proposed calculation model as well as the parameters improving the panel efficiency.

Key words: Thermal solar collector, absorber, solar energy, solar radiation.

RESUME

Dans ce travail, nous avons mené une étude numérique et expérimentale sur un capteur solaire thermique sans fluide caloporteur dans la ville de M'sila, afin de déterminer l'effet de certains paramètres internes et externes sur l'efficacité de ce panneau solaire.

L'étude théorique a permis de développer différentes équations caractérisant ce type des capteurs solaires. La solution numérique de ce modèle a été faite en utilisant un code de calcul en langue Fortran. La comparaison entre les résultats calculées et expérimentales de la température du verre et de l'absorbeur en fonction de plusieurs grandeurs physiques telles que la vitesse du vent, l'angle d'inclinaison , le type d'isolation et l'état du ciel nous a permis de valider le modèle de calcul proposé ainsi que les paramètres améliorant l'efficacité de cet capteur.

Mots clés : Capteur solaire, absorbeur, énergie solaire, gisement solaire