

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE SCIENCE
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

N° : Ph/ENR/14/2021



DOMAINE : SCIENCE DE LA MATIERE
FILIERE : PHYSIQUE
OPTION :PHYSIQUE ENERGETIQUE ET
ENERGY RENOUEVELABLE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par :Cherhabil Zakaria
Mouafak Riyadh

Intitulé

Etude de l'influence des paramètres internes
sur un capteur solaire

Soutenu devant le jury composé de:

TALOUB Djedid	Université Mohamed Boudiaf Msila	Président
BOURAS Abdelkarim	Université Mohamed Boudiaf Msila	Encadreur
HADDAD Zakaria	Université Mohamed Boudiaf Msila	Examineur

Année universitaire : 2020 /2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

Tout d'abord, Je veux rendre grâce à Dieu, le Clément et le Très Miséricordieux pour

Son amour éternel. C'est ainsi que Je dédie ce mémoire à:

Ma mère pour sa tendresse et mon père pour sa patience et encouragement et ma grand-mère. Mes très chers frère set mes chères sœur set toute la famille.

Tous ceux que J'aime et toutes mes amies.

REMERCIEMENTS

*Au terme de ce travail, nous adressons nos remerciements les plus sincères à notre encadreur Dr : **BOURAS ABDELKARIM**, pour nous avoir permis de bénéficier de son grands avoir dans la matière, pour sa disponibilité, sa pédagogie, ses compétences, sa modestie et son aide précieuse tout ou long de ce projet même pendant les moments les plus difficiles. Vraiment merci pour une qualité d'encadrement si sérieuse et si consistante...*

Je remercie tous les membres du jury et les enseignants de département de physique et les personnels administratifs et techniques, qui ont contribué de près ou de loin à notre formation durant ces cinq années.

Je tiens à remercier tout particulièrement ceux qui sont très chers : nos parents, nos amis, nos frères...

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

CHAPITRE I : Les différentes modes de transfert de chaleur

I.1- Introduction.....	05
I.2- Conduction.....	05
I.2.1- Loi de Fourier.....	05
I.2.2- Résistance thermique.....	06
I.2.3- Equation générale de la chaleur.....	07
I.3- Convection	07
I.3.1- Nombres sans dimension.....	08
I.3.1.1-Nombre de Prandtl.....	08
I.3.1.2-Nombre de Nusselt.....	08
I.3.1.3- Nombre de Grashof.....	08
I.3.1.4- Nombre de Rayleigh.....	09
I.3.2- Flux de chaleur en convection forcée.....	09
I.3.3- Le flux de chaleur en convection naturelle.....	09
I.4- Transfert de chaleur par rayonnement.....	10
I.4.1- L'émissance (totale).....	10
I.4.2- Le corps noir.....	10
I.4.3- Loi du rayonnement thermique.....	10
I.4.3.1- Loi de Planck: émittance monochromatique du corps noir.....	10
I.4.3.2- Loi de Stefan Boltzmann.....	11
I.4.4- Transfert par rayonnement entre surface.....	11
I.4.5- Réception du rayonnement par un solide.....	11

CHAPITRE II : Étude du gisement solaire

II.1- Introduction.....	14
II.2- Constitution physique du soleil.....	14
II.3- Mouvements du soleil.....	15

II.4- Le rayonnement solaire.....	16
II.4-1 La constante solaire C^*	17
II.5- Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire.....	17
II.5.1- Composition de l'atmosphère terrestre.....	18
II.5.2- Masse atmosphérique ou nombre d'air mass.....	19
II.5.2.1- Lien de la masse atmosphérique à la pression.....	19
II.6- Le rayonnement solaire.....	20
II.6.1- Le rayonnement solaire direct.....	20
II.6.2- Le rayonnement solaire diffus.....	21
II.6.3- Le rayonnement global.....	21
II.7- Calcul de la position du soleil.....	21
II.7.1- Les paramètres de position.....	21
II.7.1.1-Les coordonnées géographiques.....	21
II.7.1.2-Les coordonnées célestes horizontales.....	22
II.7.1.3-Les coordonnées célestes horaires.....	22
II.7.2- Les paramètres de temps.....	23
II.8- Le gisement solaire en Algérie.....	23

CHAPITRE III : Le capteur solaire plan

III.1- Introduction.....	27
III.2- Les différents composants d'un capteur solaire à eau.....	27
III.2.1- La couverture transparente.....	28
III.2.2- L'absorbeur.....	28
III.2.3-Le fluide caloporteur.....	29
III.2.4-L'isolation thermique.....	30
III.2.4.1- Partie avant l'absorbeur.....	30
III.2.4.2- Partie arrière et latérale.....	30
III.2.5- Le coffre.....	31
III.3-Classification des capteurs.....	31
III.3.1- Le fluide de travail utilisé.....	31
III.3.1.1- Des capteurs solaires à air.....	31
III.3.1.2- Des capteurs solaires à eau.....	31
III.3.2- L'orientation des capteurs.....	31

III.3.2.1- Des capteurs fixes.....	31
III.3.2.2- Des capteurs à poursuite.....	32
III.3.3- Les types des composants.....	32
III.3.3.1- La couverture.....	32
III.3.3.2- L'absorbeur.....	32
III.4- Fonctionnement d'un capteur solaire plan.....	32
III.5- Les différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire.....	33

CHAPITRE IV : Résultats et discussion

IV.1-Introduction	35
IV.2- Les caractéristiques thermo physique et géométriques du capteur solaire utilisé	35
IV.2.1- Caractéristiques thermo physique	35
IV.2.2- Caractéristiques géométriques	36
IV.3- Variation temporelle du flux solaire	36
IV.3.1- Flux total.....	37
IV.3.2- Flux direct	37
IV.3.3- Flux diffus	38
IV.4- L'influence de quelques paramètres sur la température sortie d'eau d'un capteur solaire	38
IV.4.1- L'influence de la vitesse du vent	38
IV.4.2- L'influence de la distance entre l'absorbeur et le vitre	40
IV.4.3- L'influence de la matière isolante	41
IV.4.3.1- l'influence de la matière isolant sur la température du fluide et d'isolant	41
IV.4.3.2- l'influence de la matière isolant sur le rendement final	43
IV.4.4-L'influence de l'épaisseur d'isolant.....	44

Liste des figures

CHAPITRE I

Figure I.1 : Echange de chaleur par conduction.....	05
Figure I.2 : Résistance thermique.....	06
Figure I.3 : Transfert de chaleur par convection.....	07
Figure I.4 : Transfert de chaleur par rayonnement.....	11
Figure I.5 : Réception du rayonnement.....	12

CHAPITRE II

Figure II.1 : mouvement apparent du soleil.....	16
Figure II.2 : Spectre solaire.....	17
Figure II.3 : Variation mensuelle de la constante solaire.....	17
Figure II.4 : Stratification verticale de l'atmosphère	19
Figure II.5 : Les coordonnées célestes horizontales.....	22
Figure II.6 : Variation annuelle de la déclinaison solaire.....	23
Figure II.7 : Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel.....	24
Figure II.8 : Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu	25
Figure II.9 : Répartition territoriale des stations météorologiques en Algérie.....	25

CHAPITRE III

Figure III.1 : Composants d'un capteur solaire plan.....	28
Figure III.2 : Principe de fonctionnement du capteur solaire plan.....	33
Figure III.3 : Les différents échanges thermiques dans un capteur plan.....	33

CHAPITRE IV

Figure IV.1 : Variation du flux solaire total pour la journée de 08 mai 2021	37
Figure IV.2 : Variation du flux solaire direct pour la journée de 08 mai 2021	37
Figure IV.3 : Variation du flux solaire diffus pour la journée de 08 mai 2021	38
Figure IV.4 : Variation de rendement final en fonction de la vitesse de vent.....	39
Figure IV.5 : Variation de la température sortie du fluide en fonction de la vitesse de vent	39
Figure IV.6 : Variation de la température sortie du fluide en fonction de la distance entre l'absorbeur et le vitre.....	40

Figure IV.7 : Variation du rendement final en fonction de la distance entre l'absorbeur et le vitre.....	40
Figure IV.8 : L'influence de la matière isolante sur la température du fluide.....	42
Figure IV.9 : L'influence de la matière isolante sur la température interne.....	42
Figure IV.10 : L'influence de la matière isolante sur la température externe.....	43
Figure IV.11 : L'influence de la matière isolante sur le rendement final.....	44
Figure IV.12 : Variation de la température (de fluide, interne et externe d'isolant) en fonction de l'épaisseur.....	45

Liste des tableaux

CHAPITRE II

Tableau II.1 : Répartition spectrale du rayonnement thermique.....	16
Tableau II.2 : Valeurs des coefficients du trouble atmosphérique.....	20
Tableau II.3 : Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude.....	20
Tableau II.4 : Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques.....	24

CHAPITRE IV

Tableau IV.1 : Les caractéristiques thermo physiques du capteur plan étudié.....	35
Tableau IV.2 : Les caractéristiques géométriques du capteur plan étudié.....	36

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

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

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

La part des énergies renouvelables dans la consommation finale mondiale d'énergie en 2014 était estimée à 19,2 %, dont 14 % de biomasse, et leur part dans la production d'électricité à la fin 2015 était estimée à 23,7 % : 16,6 % d'hydroélectricité, 3,7 % d'éolien, 2,0 % de biomasse, 1,2 % de photovoltaïque et 0,5 % de divers (géothermie, solaire thermodynamique, énergies marines).

L'énergie solaire est l'énergie diffusée par le rayonnement du soleil. Des ondes radio aux rayons gamma en passant par la lumière visible, tous ces rayonnements sont constitués de photons, les composants fondamentaux de la lumière et les vecteurs de l'énergie solaire. L'énergie solaire est issue des réactions de fusion nucléaire qui animent le soleil.

Sur terre, l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau, du vent et de la photosynthèse du règne végétal. Le règne animal, y compris l'humanité, dépendent des végétaux sur lesquels sont fondées toutes les chaînes alimentaires.

L'énergie solaire est à l'origine de toutes les formes de production énergétique aujourd'hui utilisées sur terre, à l'exception de l'énergie nucléaire, de la géothermie et de l'énergie marémotrice. L'homme utilise l'énergie solaire pour la transformer en d'autres formes d'énergie : énergie chimique (les aliments que notre corps utilise), énergie cinétique, énergie thermique, énergie électrique ou biomasse.

Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou l'énergie thermique obtenue à partir de la source énergétique primaire qu'est le rayonnement solaire.

Un des outils utilisés pour exploiter l'énergie solaire est le capteur solaire qui peut être utilisé dans beaucoup d'applications nécessitant des températures basses et modérées, telles que le chauffage des locaux, le séchage des produits agricoles, le séchage du bois, le séchage des briques, etc....

Le travail que je présente est une étude sur l'influence des paramètres internes sur un capteur solaire.

Le présent travail comporte 4 chapitres :

- ✓ Le premier chapitre: Les différentes modes de transfert de chaleur.
- ✓ Le deuxième chapitre: Etude du gisement solaire.
- ✓ Le troisième chapitre: Le capteur solaire plan.
- ✓ Le quatrième chapitre : Résultats et discussion.

CHAPITRE I

Les différentes modes de transfert de chaleur

CHAPITRE I : Les différents modes de transfert de chaleur

I.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons un certain nombre de définitions et théories relatives aux différents modes de transfert de chaleur (conduction, convection et rayonnement).

I.2. Conduction

C'est un mode de transfert de chaleur au sein d'un milieu solide, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts:

- une transmission par les vibrations des atomes ou molécules;
- une transmission par les électrons libres.

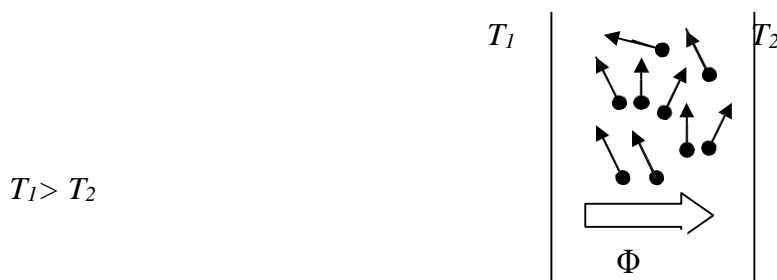


Fig.I.1- Echange de chaleur par conduction

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier [1]

I.2.1. Loi de Fourier

Il existe une relation linéaire entre la densité de flux thermique et le gradient de température. En tout point d'un milieu isotrope, la densité de flux thermique instantanée est proportionnelle à la conductivité thermique λ du milieu et au gradient de température [1].

$$\Phi = -\lambda \cdot \text{grad}(T)$$

Ou sous la forme suivante :

$$\theta = -\lambda \cdot s \frac{\partial T}{\partial x}$$

Avec :

Φ : Flux de chaleur transmis par conduction (w)

CHAPITRE I : Les différents modes de transfert de chaleur

λ : Conductivité thermique du milieu ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{C}^{-1}$)

x : Variable d'espace dans la direction du flux (m)

s : Aire de la section de passage du flux de chaleur (m^2)

Pour un milieu isotrope, la conductivité thermique λ est une grandeur scalaire positive, caractéristique du milieu, fonction en général de T . pour un milieu isotrope et homogène λ ne dépend pas de T . dans de nombreux cas pratiques, lorsque les écarts de température ne sont pas trop élevés, on peut considérer, avec une précision suffisante, λ comme une constante pour un milieu donné.

I.2.2. Résistance thermique

Considérant l'intersection d'un tube de courant par deux surfaces isothermes de températures T_1 et T_2 , on définit la résistance thermique par la relation [1] :

$$T_1 - T_2 = R \Phi$$

On reconnaît dans cette équation la forme générale de la loi d'Ohm [1]:

$$E_1 - E_2 = R.I$$

Dans laquelle les potentiels E sont remplacés par les températures et l'intensité I par le flux Φ

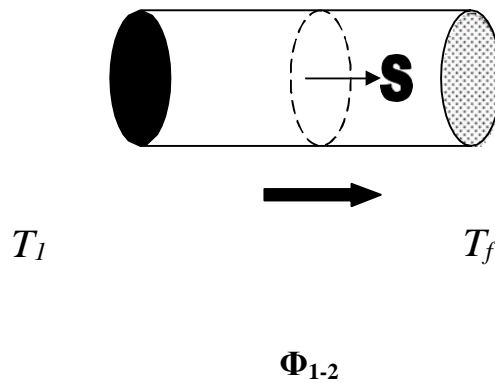


Fig.I.2- Résistance thermique

CHAPITRE I : Les différents modes de transfert de chaleur

I.2.3. Equation générale de la chaleur

Cette équation qui exprime la conservation d'énergie d'un élément infinitésimal de matière s'écrit :

$$\text{div} (\lambda \cdot \text{grad } T) + P = \rho \cdot C_p \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right)$$

Où P : représente la production de chaleur en (W/m^3),

C_p : chaleur massique en ($\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}$),

ρ : masse volumique en (kg/m^3)

I.3. Convection :

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide [3]. Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton

$$\Phi = h S (T_p - T_\infty)$$

Avec :

Φ : Flux de chaleur transmis par convection (W)

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection ($\text{W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

T_p : Température de surface du solide ($^\circ\text{C}$)

T_∞ : Température du fluide loin de la surface du solide ($^\circ\text{C}$)

S : Aire de la surface de contact solide/fluide (m^2)

La valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection h est en fonction de la nature du fluide, de sa température, de sa vitesse et des caractéristiques géométriques de la surface de contact solide/fluide.

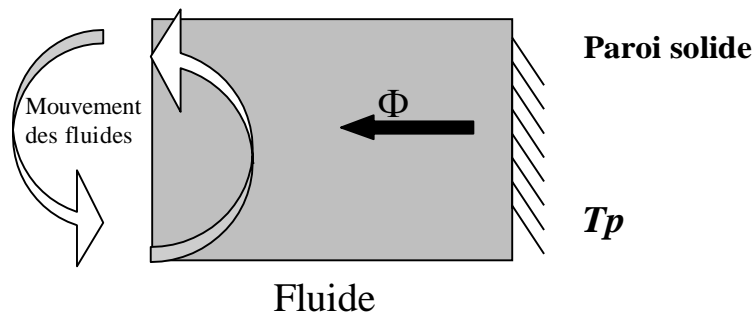


Fig.I.3- Transfert de chaleur par convection

CHAPITRE I : Les différents modes de transfert de chaleur

I.3.1. Nombres sans dimension

Nous définirons ci-dessous les nombres sans dimension rencontrés en transfert thermique par convection [2-3] :

I.3.1.1. Nombre de Prandtl

$$Pr = \frac{\mu \cdot Cp}{\lambda} = \frac{\nu}{a}$$

Avec :

λ : Conductivité thermique du milieu ($\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

μ : viscosité dynamique en (PI)

Cp : chaleur massique en (J/kg.K).

Ce nombre représente le rapport de la diffusivité mécanique ν à la diffusivité thermique a .

Un fluide peu visqueux mais bon conducteur thermique, aura un Pr très faible et vice-versa [3].

I.3.1.2. Nombre de Nusselt

$$Nu = \frac{h \cdot L}{\lambda}$$

Avec :

L : dimension caractéristique (m)

Ce nombre exprime le rapport entre le flux de chaleur par convection dans le fluide et le flux par conduction λ , ici la conductivité du fluide. Contrairement au Pr, Nu dépend non seulement de la nature du fluide à travers λ , mais aussi de la géométrie de l'écoulement à travers la dimension caractéristique L et de champ de la vitesse dans la couche limite à travers sa dépendance sur h . Tout comme pour h , on définit un nombre de Nusselt moyen Nu et un nombre de Nusselt local [4].

$$Nu_l = \frac{h_l \cdot L}{\lambda_l}$$

I.3.1.3. Nombre de Grashof

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot \rho \cdot L^3 (T - T_f)}{\mu^2}$$

Ce nombre exprime le rapport entre les forces de gravité multipliées par les forces d'inertie et le carré des forces de viscosité.

I.3.1.4. Nombre de Rayleigh

$$Ra = Pr \cdot Gr$$

Il s'écrit sous la forme suivante :

Où il caractérise l'écoulement en convection naturelle.

Avec :

β : coefficient de dilatation du fluide (K^{-1})

I.3.2. Flux de chaleur en convection forcée

L'application de l'analyse dimensionnelle montre que la relation liant le flux de chaleur transféré par convection aux variables dont il dépend peut être recherchée sous la forme d'une relation entre trois nombres adimensionnels:

$$Nu = f(Re, Pr)$$

Avec Nu : nombre de Nusselt, Re : nombre de Reynolds et Pr : nombre de Prandtl

Le calcul d'un flux de chaleur transmis par convection forcée s'effectue donc de la manière suivante :

1. Calcul des nombres adimensionnels de Reynolds et de Prandtl;
2. Suivant la valeur de Re et la configuration \rightarrow choix de la corrélation;
3. Calcul de Nu par application de cette corrélation;
4. Calcul de h (Coefficient de transfert de chaleur)

$$h = \lambda Nu/d \text{ et de } \Phi = h S (T_p - T)$$

I.3.3. Le flux de chaleur en convection naturelle

L'application de l'analyse dimensionnelle montre que la relation liant le flux de chaleur transféré par convection aux variables dont il dépend peut être recherchée sous la forme d'une relation entre trois nombres adimensionnels :

$$Nu = f(Gr, Pr)$$

Avec Nu : nombre de Nusselt, Pr : nombre de Prandtl et Gr : nombre de Grashof.

Le flux de chaleur transmise par convection naturelle s'effectue donc de la manière suivante:

1. Calcul des nombres adimensionnels de Grashof et de Prandtl;
2. Suivant la valeur de Gr et la configuration \rightarrow choix de la corrélation;
3. Calcul de Nu par application de cette corrélation;
4. Calcul de h (Coefficient de transfert de chaleur)

$h = \lambda Nu/D$ et de $\Phi = h S (T_p - T)$

I.4. Transfert de chaleur par rayonnement

Contrairement aux deux autres modes d'échange qui sont la conduction et la convection, le rayonnement ne nécessite pas l'existence d'un support matériel. Il se propage dans l'espace, comme dans tout type de milieu. Si ce milieu est homogène, il se propage en ligne droite.

Le rayonnement c'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans l'espace).

I.4.1. L'émittance (totale)

C'est le flux total émis par unité de surface de la source. On considère globalement la puissance $d\Phi$ émise par un élément de surface dS dans l'ensemble des directions où il peut rayonner (hémisphère limitée par le plan tangent à dS en son centre), et on divise ce flux par l'aire de dS . L'émittance est notée par M . Son unité est le W/m^2 :

$$M = d\Phi/dS$$

I.4.2. Le corps noir

C'est un corps idéal vis-à-vis du rayonnement qui, par définition, absorbe tout le rayonnement qu'il reçoit quelque soit la fréquence et la direction. A l'équilibre thermique, il émet autant de rayonnement qu'il en absorbe de sorte qu'un corps noir rayonne le maximum d'énergie de façon uniforme dans toutes les directions.

I.4.3. Loi du rayonnement thermique

I.4.3.1. Loi de Planck : émittance monochromatique du corps noir:

L'émittance monochromatique d'un corps noir $M_{\lambda,T}^o$ à la longueur d'onde λ et la température T , est donnée par la loi de Planck [5]:

Où M^o est le flux _{λ,T} énergétique émis par la surface dans tout l'hémisphère et ramène à l'unité de longueur d'onde λ , la surface étant à la température T . M^o est exprimé en W/m^3 ou, dans le cas où λ est exprimé en microns (μm), $M_{\lambda,T}^o$ sera en $W/(m^2 \cdot \mu m)$.

Les constantes c_1 , c_2 sont égales à :

$$c_1 = 3,74 \cdot 10^8 \text{ W} \cdot \mu m^4 / m^2$$

$$c_2 = 1,44 \cdot 10^4 \mu m^o K$$

I.4.3.2. Loi de Stefan Boltzmann

Cette loi fournit l'émittance totale du rayonnement du corps noir dans l'espace en fonction de sa température absolue (sur tout le spectre de longueur d'onde). Elle s'écrit :

$$M^{\circ} = \sigma \cdot T^4 \quad (\text{W/m}^2)$$

Avec σ : est la constante de Stefan Boltzmann

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (W/(m}^2\text{K}^4)) \text{ [4] .}$$

I.4.4. Transfert par rayonnement

1) petit objet convexe placé dans une enceinte large ($S_1 \ll S_2$)

$$E = \alpha \sigma_p S (T_p^4 - T_{\infty}^4) \text{ Exprimé en (W)}$$

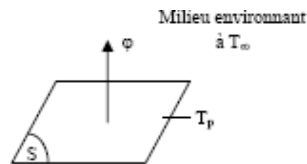


Fig.I.4 -Transfert de chaleur par rayonnement

2) Deux plans parallèles infinis:

$$\phi = \frac{\alpha(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\sigma_1} + \frac{1}{\sigma_2} - 1}$$

Avec :

Φ Flux de chaleur transmis par rayonnement exprimé en W

σ Constante de Stephan ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$)

ε_p Facteur d'émission de la surface

T_p Température de la surface en K

T_{∞} Température du milieu environnant la surface en K S Aire de la surface en m^2

I.4.5. Réception du rayonnement par un solide

Quand un rayon d'énergie incident Φ_i frappe un corps à la température T , une partie Φ_r de l'énergie incidente est reflétée par la surface S , une autre partie Φ_a est absorbée par le corps qui s'échauffe et le reste Φ_t transmis et continue son chemin [6] :

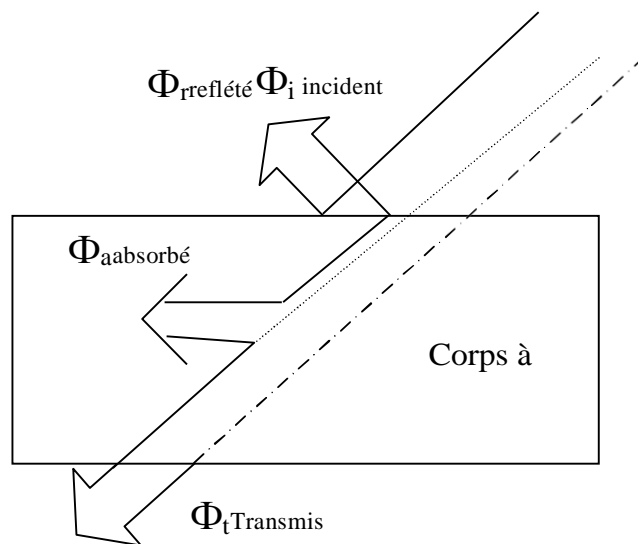


Fig.I.5 - Réception du rayonnement

CHAPITRE II

Étude du gisement solaire

II.1. Introduction

Le rayonnement solaire incident à la surface de la terre est le résultat d'interactions complexes de l'énergie entre l'atmosphère et la surface. À l'échelle mondiale, les gradients latitudinaux de rayonnement sont causés par la géométrie de la terre et sa rotation autour du Soleil. À des échelles régionales et locales, le terrain est le principal facteur à modifier la répartition du rayonnement. L'altitude du lieu, l'inclinaison de la surface, l'orientation et ombres projetées par élément de terrain créent de forts gradients locaux. L'hétérogénéité spatiale et temporelle de l'énergie solaire détermine la dynamique de nombreux facteurs environnementaux, par exemple l'air et la température du sol et l'humidité, la fonte des neiges, la photosynthèse et l'évapotranspiration. Les données de rayonnement solaire précises et réparties dans l'espace sont désirées pour diverses applications (sciences de l'environnement, la climatologie, l'écologie, la conception des bâtiments, la télédétection, photovoltaïque, gestion des terres, etc.) [7,8].

Cependant le rayonnement solaire a des variations temporelles et spatiales. Pour recueillir cette information, un réseau de stations de surveillance solaires équipées des Pyranomètres et des systèmes d'acquisition de données sont généralement établies aux endroits désirés. Cependant, le nombre de ces stations dans le réseau n'est pas généralement suffisant pour fournir des données de rayonnement solaire à des zones désirées, en particulier dans les pays en développement. Il est nécessaire de développer des méthodes pour estimer le rayonnement solaire sur la base des données météorologiques plus facilement disponibles [7].

Une autre solution à ce problème consiste à estimer le rayonnement solaire en utilisant une modélisation approchée, la modélisation du rayonnement solaire fournit également un arrangement de dynamique de rayonnement solaire et elle est clairement de grande valeur dans la conception des systèmes de conversion à énergie solaire. notre pays reçoit du rayonnement solaire donc la technologie solaire peut être un avantage appliqué à ces régions et surtout sur le sud algérien.

II.2. Constitution physique du soleil

Le soleil est une sphère gazeuse composée d'hydrogène (74 % de la masse ou 92,1 % du volume) et d'Hélium (24 % de la masse ou 7,8 % du volume). L'hydrogène se transforme en hélium par fusion nucléaire, chaque seconde 700 milliards (7 1011) de kilogrammes d'hydrogène se transforme en 695.7 milliards de kilogrammes d'hélium. La différence -4.3 milliards de kilogrammes se transforment en énergie $-38.7 \cdot 10^{25}$ joules, c'est équivalent à 26 mille milliards de fois la consommation énergétique mondiale dans le même temps. Avec un diamètre de 1391000 km, le Soleil se trouve à une distance moyenne de 149 000 km par rapport à la terre. A cause de l'ellipticité de l'orbite terrestre, la distance minimale se situe vers le 15 janvier, et la maximale vers la fin juin [7-9].

CHAPITRE II : Etude du gisement solaire

Le soleil n'est pas une sphère homogène, on peut y distinguer trois régions principales :

L'intérieur : où se crée l'énergie par réaction thermonucléaire et qui est inaccessible aux Investigations, car le rayonnement émis dans cette région est totalement absorbé par les couches extérieures. La température atteint plusieurs millions et la pression un milliard d'atmosphère.

La photosphère : l'épaisseur est d'environ 300km qui est responsable de la presque totalité du rayonnement solaire que nous recevons.

Chromosphère et couronne solaire : où la matière est très diluée, fait qui explique que bien que la température y soit très élevée (1million de degrés) le rayonnement émis est très faible.

II.3. Mouvements du soleil

La figure II.1 représente le mouvement annuel de la terre autour du soleil dans un plan appelé plan écliptique. Le nom d'écliptique provient du fait que la lune doit être dans ce plan pour qu'une éclipse se produise [10,11].

Ce mouvement annuel de la terre donne l'impression que le soleil se déplace, au cours de l'année, sur un grand cercle de la sphère céleste appelé cercle écliptique, le cercle écliptique coupe le cercle équatorial en deux points γ et γ' ; le point γ , appelé point vernal, indique la direction dans laquelle un observateur terrestre verra le soleil le jour de l'équinoxe de printemps.

L'axe des pôles terrestres P et P' fait avec l'axe des pôles Q et Q' de l'écliptique un angle ε dont la valeur est égale à $23^{\circ}27'$.

Cette révolution fait varier les durées relatives du jour et de la nuit au rythme des saisons limitées par les deux équinoxes et les deux solstices (voire figure II.1)

- Equinoxe de printemps correspond au 21 Mars
- Equinoxe d'automne correspond au 23 Septembre
- Solstice d'été correspond au 22 Juin
- Solstice d'hiver correspond au 22 Décembre.

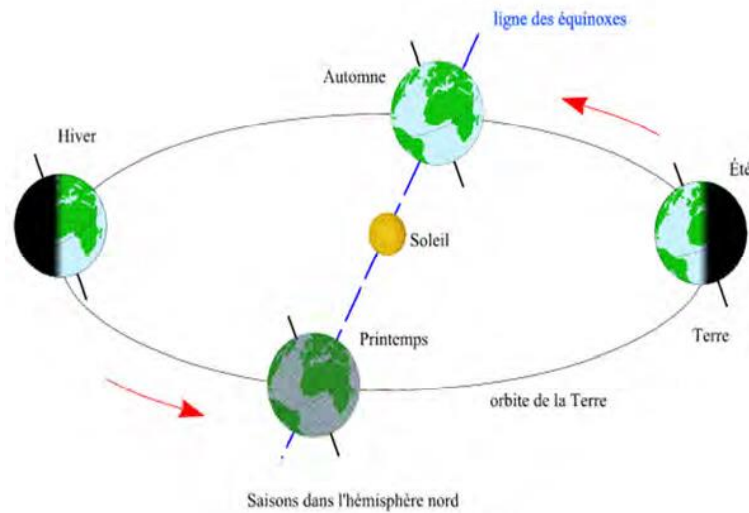


Fig.II.1- mouvement apparent du soleil

II.4. Le rayonnement solaire

Les réactions thermonucléaires produites au cœur du soleil génèrent des rayonnements corpusculaires et électromagnétiques se propageant dans toutes les directions du vide intersidéral avec une vitesse de 3.10^8 m/s et couvrant toutes les longueurs d'ondes depuis les rayons X et gamma jusqu'à l'I.R lointain. Cependant 99.9% de l'énergie se situe entre 0.2 et $8\mu\text{m}$ [12].

On pourra supposer avec une approximation acceptable que le soleil rayonne comme un corps noir porté à une température de 5762 K dite température apparente du soleil ne correspondant pas à la réalité physique [13].

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

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

Tab.II.1- Répartition spectrale du rayonnement thermique [14]

La figure (II.2) illustre le rayonnement solaire, ses fréquences et ses longueurs d'ondes.

CHAPITRE II : Etude du gisement solaire

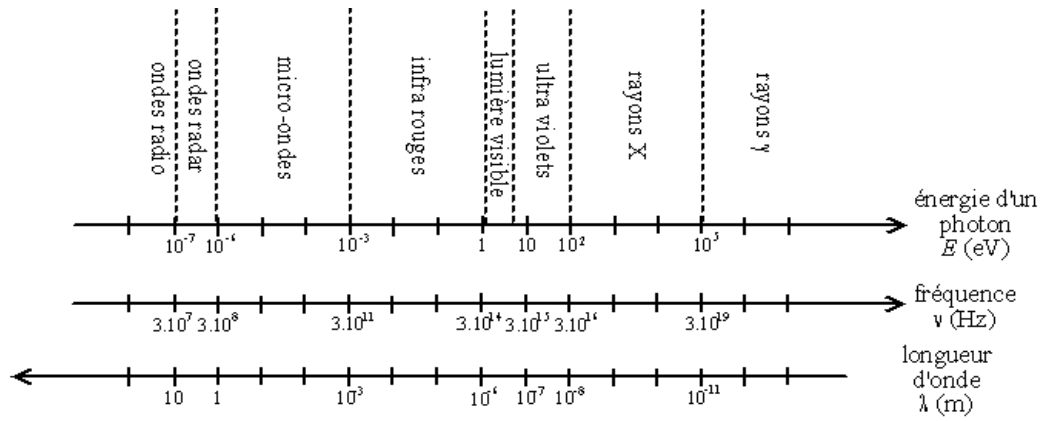


Fig.II.2 - Spectre solaire

II.4.1. La constante solaire C^*

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 [15].

La variation de la constante solaire suit la relation suivante [14] :

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

C^* : La constante solaire.

$C_0^* = 1353 \text{ W/m}^2$ est la valeur moyenne de la constante solaire actuellement retenue [14].

n : le numéro du jour de l'année.

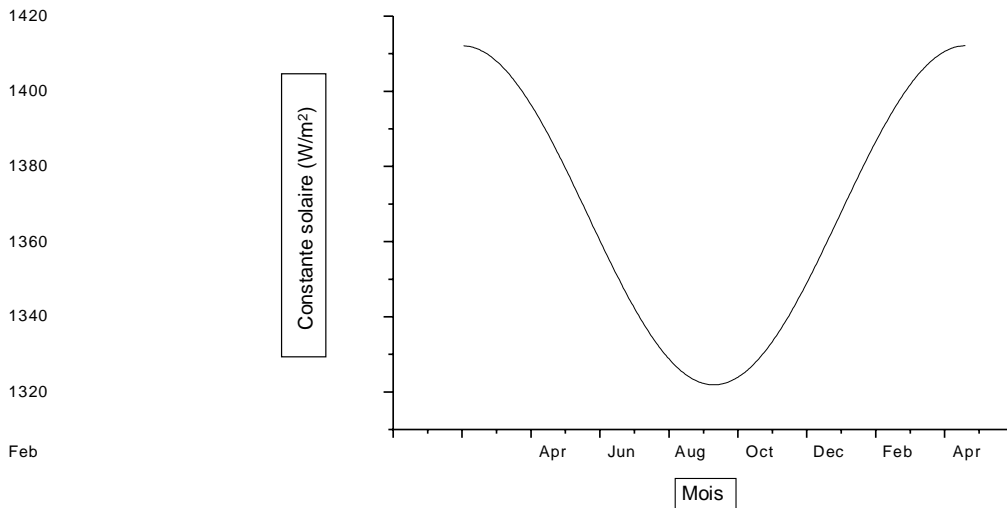


Fig.II.3 - Variation mensuelle de la constante solaire [14]

II.5. Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire

L'atmosphère est l'enveloppe gazeuse la plus externe de notre planète. Bien que dans la vie de tous les jours elle soit oubliée et parfois ignorée, elle est pourtant indispensable. Elle est transparente aux

CHAPITRE II : Etude du gisement solaire

rayons lumineux dans le domaine visible, ce qui nous permet de voir le monde qui nous entoure. Sa présence est tout de même révélée par la couleur bleue du ciel. Ses propriétés de transparence sélective sont dues à la capacité des molécules qui la composent d'absorber une partie du rayonnement électromagnétique et d'émettre un rayonnement du même type dans une autre longueur d'onde. Une partie seulement de l'énergie solaire atteint donc la surface de la Terre [15].

La masse volumique $\rho(z)$ de l'air atmosphérique diminue avec l'altitude z , cette variation entraîne une variation de la réfraction de l'air celle-ci provoque une déviation progressive des rayons lumineux ce qui influe sur la durée du jour car s'il n'y avait pas d'atmosphère, l'obscurité la plus complète arriverait dès que le soleil a disparait à l'horizon. La lumière solaire diffusée par les couches supérieures de l'atmosphère encore illuminées par le soleil fait que le passage du jour à la nuit ou de la nuit au jour se fait graduellement [16].

II.5.1. Composition de l'atmosphère terrestre

On considère l'atmosphère comme un mélange :

- d'air sec et propre et sec
- de vapeur d'eau
- d'aérosols (fines particules en suspension dans l'air)

L'atmosphère propre et sèche est composée de 78% d'azote, de 21% d'oxygène, de 1% d'argon et de divers gaz.

Les caractéristiques absorbantes de l'atmosphère sont déterminées selon ses différents composants. On décompose verticalement l'atmosphère en couches et la limite de chaque couche est définie d'après le changement de la variation de température en fonction de l'altitude [17].

- La troposphère entre le sol et 12 km d'altitude c'est là où se passent les phénomènes météorologiques
- La stratosphère entre 12 et 50 km d'altitude.
- La mésosphère entre 50 et 80 km d'altitude.
- La thermosphère entre 80 et 500 km d'altitude.
- L'exosphère plus de 500 km d'altitude.

La stratification verticale de l'atmosphère est représentée dans la figure (II.4) [18].

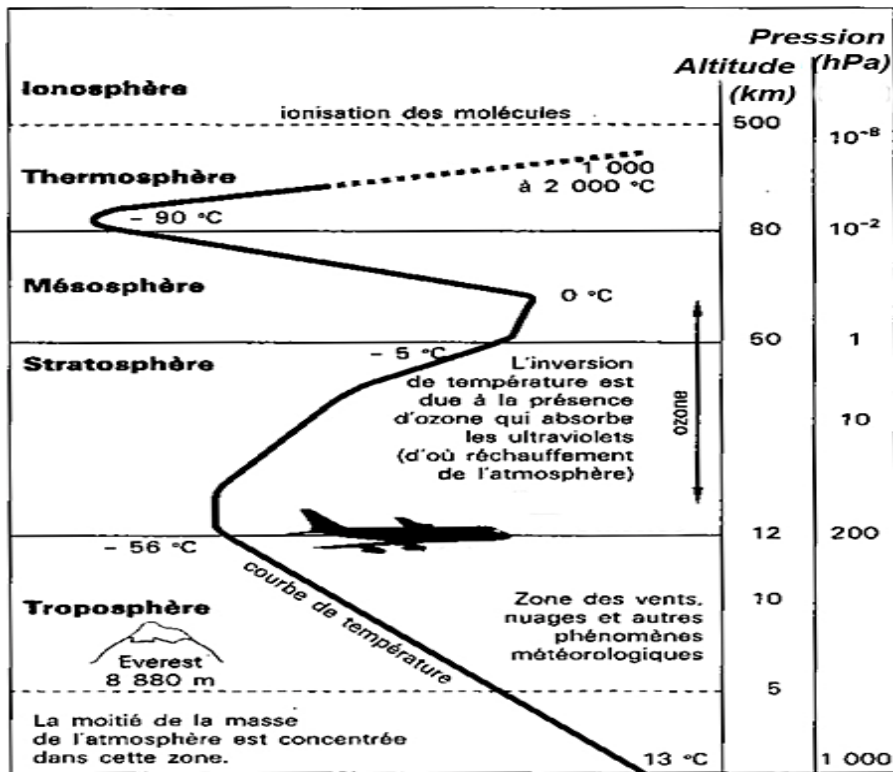


Fig.II.4 - Stratification verticale de l'atmosphère [19].

II.5.2. Masse atmosphérique ou nombre d'air mass

L'atmosphère terrestre s'étend jusqu'à de très grandes distances, mais avec une densité qui tend vers zéro. On ne peut donc pas donner une valeur finie de l'épaisseur de l'atmosphère. Cependant, du point de vue de l'atténuation du rayonnement, c'est la quantité de matière rencontrée par un rayon qui est importante [20].

L'atténuation dépend de la longueur du trajet optique (l) et de la densité de molécules définie par la masse volumique (ρ).

Le produit (ρ, l) représente la masse atmosphérique d'une colonne d'air de longueur (l) et de section unité. On l'appelle "masse atmosphérique" (m').

ρ et l sont fonction de l'altitude (z).

$$m' = \int_0^{\infty} \rho \, dl \text{ Kg/m}^2$$

II.5.2.1. Lien de la masse atmosphérique à la pression

Pour déterminer la masse atmosphérique, il n'est pas nécessaire de connaître la densité de l'atmosphère à toutes les altitudes. Il existe en effet un lien étroit entre la masse atmosphérique et la pression. La pression atmosphérique correspond en effet au poids de l'air contenu au-dessus d'une surface unitaire horizontale placée à l'endroit considéré. La masse atmosphérique m' correspondant à la verticale (direction du zénith) vaut donc en unités (SI) [20].

$$m' = p/g$$

CHAPITRE II : Etude du gisement solaire

où g est l'accélération de la pesanteur.

II.6. Le rayonnement solaire

II.6.1. Le rayonnement solaire direct

Le rayonnement direct est le rayonnement incident sur un plan donné en provenance d'un petit angle solide centré sur le disque solaire, il parvient en ligne droite et par temps clair [22].

L'état du ciel est défini par deux coefficients, a et b qui symbolisent le trouble atmosphérique du lieu où se trouve le capteur solaire (tableau II.2).

La transmissivité totale de l'atmosphère pour le flux solaire incident direct est donnée par [23] :

$$\tau_{dir} = a \times e^{\frac{-P \times b}{1000 \times \sin h}} \quad (I.2)$$

Où :

a, b : coefficients traduisant les troubles atmosphériques.

h : hauteur du soleil.

P : pression atmosphérique du lieu.

	Ciel pur	Conditions normales	Zones industrielles
a	0.87	0.88	0.91
b	0.17	0.26	0.43

Tab. II.2- Valeurs des coefficients du trouble atmosphérique [15]

Le tableau II.3 donne la variation de la pression atmosphérique avec l'altitude :

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

Tab II.3- Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude [15]

Le rayonnement direct reçu sur un plan horizontal est donné par [13] :

$$G_{dirh} = C^* \times \tau_{dir}$$

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

L'éclairement énergétique G_{dir} reçu sur un plan incliné est donné par [23] :

$$G_{dir} = G_{dirh} \times \cos\theta$$

CHAPITRE II : Etude du gisement solaire

θ : angle d'incidence des rayons solaires.

II.6.2. Le rayonnement solaire diffus

Le rayonnement diffus résulte de la diffraction de la lumière par les molécules atmosphériques, et de sa réfraction par le sol, il parvient de toute la voute céleste [22].

La relation entre le coefficient de transmission du flux direct et diffus est [23] :

$$\tau_{dif} = 0.271 - 0.2939 \times \tau_{dir}$$

Le flux diffus reçu sur un plan horizontal est défini par [23] :

$$G_{difh} = C^* \times \sin(h) \times \tau_{dif}$$

Le flux diffus reçu sur un plan incliné est défini par [23] :

$$G_{dif} = G_{dif1} + G_{dif2}$$
$$G_{dif1} = G_{difh} \times \frac{1 + \cos(i)}{2}$$
$$G_{dif2} = alb \times \frac{1 + \cos(i)}{2} \times (G_{difh} \times \sin(h) + G_{difh})$$

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

Alb : albédo du sol.

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

II.6.3. Le rayonnement global

Le rayonnement global (G) est la somme des rayonnements diffus et direct [22] :

$$G = G_{dir} + G_{dif}$$

II.7. Calcul de la position du soleil

II.7.1. Les paramètres de position

II.7.1.1. Les coordonnées géographiques

Tout point de la surface de la terre est repéré par ses coordonnées géographiques [13], [24], [25] :

- La longitude (λ) est l'angle entre le plan méridien passant par ce lieu avec la méridienne origine de Greenwich, elle varie de -180° à $+180^\circ$ de l'ouest à l'est.
- La latitude (L) est l'angle avec le plan équatorial que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu, elle varie entre $+90^\circ$ au pôle Nord et -90° au pôle Sud.
- L'altitude (Z) correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de référence, le géoïde, figurant le niveau moyen de la mer.

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

CHAPITRE II : Etude du gisement solaire

soleil qui sont :

II.7.1.2. Les coordonnées célestes horizontales

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles qui sont [13], [25]:

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

$$\sin(a) = \cos(\delta) \times \frac{\sin(\omega)}{\sin(h)}$$

- La hauteur du soleil (h) est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur un plan horizontal (figure I.5), elle est donnée par la formule [13], [25]:

$$\sin(h) = \sin(L) \times \sin(\delta) + \cos(L) \times \cos(\delta) \times \cos(\omega)$$

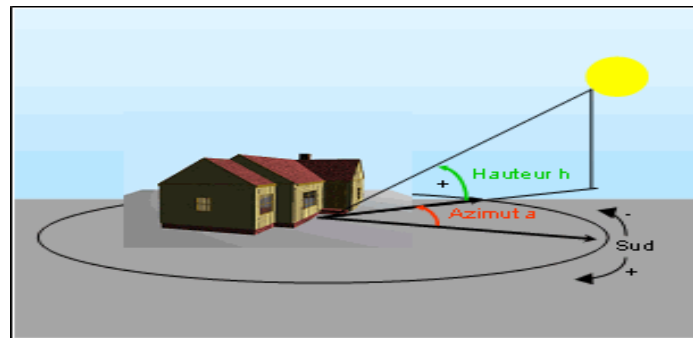


Fig. II.5- Les coordonnées célestes horizontales

II.7.1.3. Les coordonnées célestes horaires

- L'angle horaire (ω) est l'arc de la trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu, il augmente de 15° par heure [26], [13],[22].

- La déclinaison (δ) est l'angle entre le plan de l'équateur terrestre avec la direction terre-soleil. elle varie suivant l'équation de Cooper (figure II.6) [14] :

$$\delta = 23.45 \times \sin\left(\frac{360}{365} \times (n - 81)\right)$$

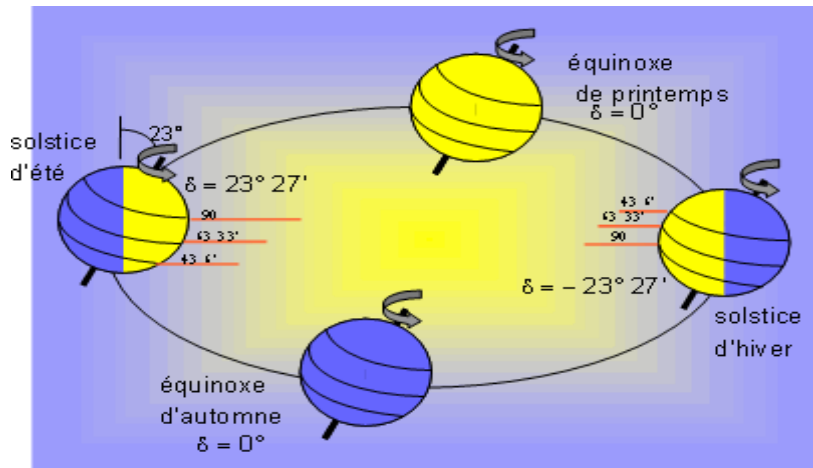


Fig. II.6- Variation annuelle de la déclinaison solaire

II.7.2. Les paramètres de temps

On distingue :

- Le temps solaire vrai (TSV) est l'angle horaire entre le plan méridien passant par le centre du soleil et le méridien du lieu considéré, il est donné par l'expression:

$$TSV = 12 + \frac{\omega}{12}$$

- Le temps solaire moyen (TSM) est donné par[26]:

$$TSV - TSM = ET$$

ET est l'équation du temps qui corrige le TSV par rapport au TSM [26]:

$$ET = 9.87 \times \sin(2 \times \dot{N}) - 7.53 \times \cos(\dot{N}) - 1.5 \times \sin(\dot{N})$$

$$\dot{N} = (n - 81) \times \frac{360}{365}$$

- Le temps universel (TU) est le temps moyen de Greenwich [26] :

$$TU = TSM - \frac{\lambda}{15}$$

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

$$TL = TU + \Delta H$$

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

II.8. 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 [27].

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure (II.7) :

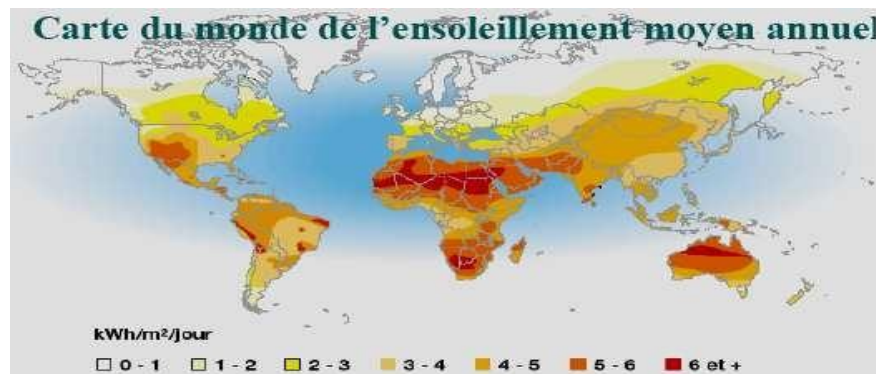


Figure II.7. Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel [28]

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 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau II.4 selon l'ensoleillement reçu annuellement [28]:

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

Tab. II.4- Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques

La durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de 3500h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8h/j et peut arriver jusqu'à 12h/j pendant l'été à l'exception de l'extrême sud où elle baisse jusqu'à 6h/j en période estivale [28].

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

CHAPITRE II : Etude du gisement solaire

l'Algérie (figure II.8).

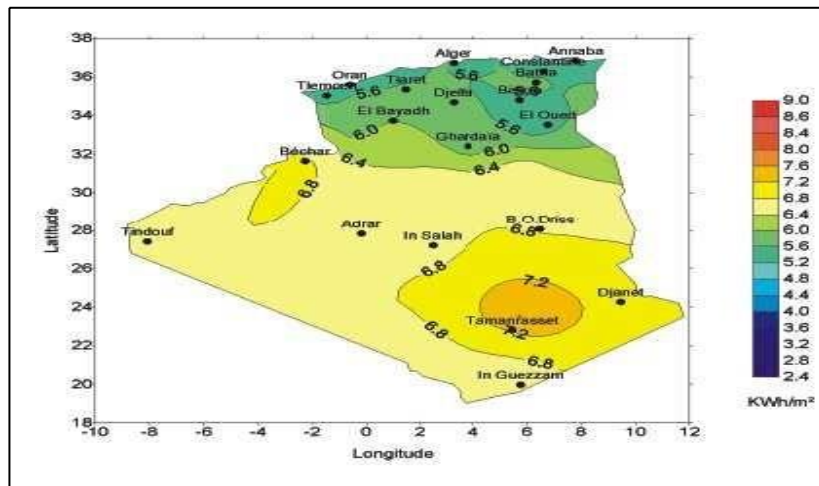


Fig. II.8. Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu [29]

En Algérie, il existe un réseau de 78 stations de mesure météorologiques de l'O.N.M (annexe D) réparties sur tout le territoire algérien (figure II.9) [27]. Cependant, seules 7 stations météorologiques assurent la mesure des composantes diffuses et globales du rayonnement solaire reçu sur un plan horizontal en raison, soit du manque de fiabilité des appareils de mesure, ou bien, du coût élevé d'un tel appareillage. La durée d'insolation quant à elle, est mesurée par un héliographe dans la majorité des stations de (O.N.M) à cause de la facilité de sa mise en œuvre.

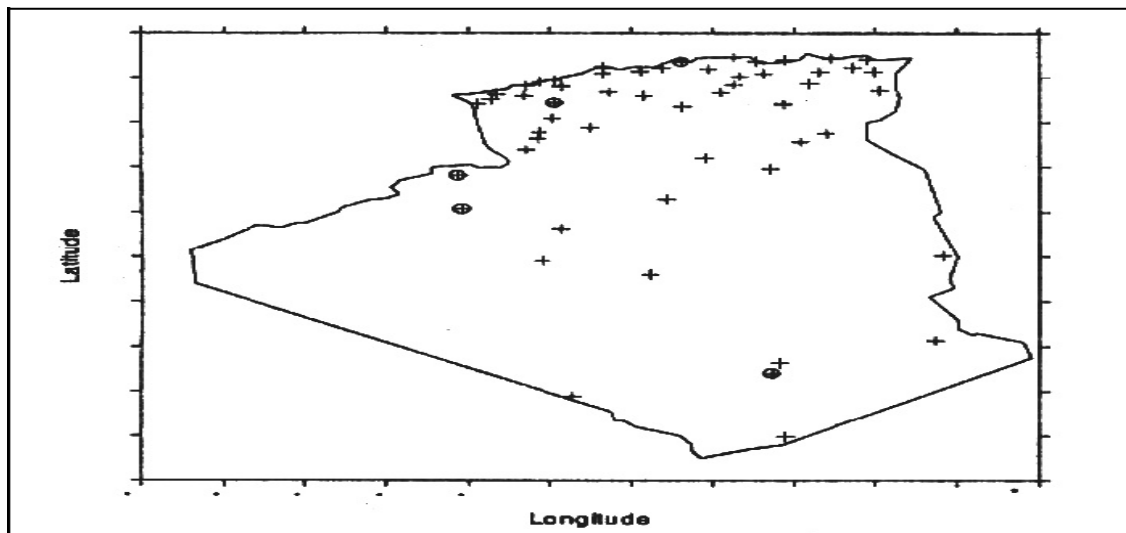


Fig. II.9- Répartition territoriale des stations météorologiques en Algérie.

CHAPITRE III

Le capteur solaire plan

CHAPITRE III : Le capteur solaire plan

III.1. Introduction

Le capteur solaire plan est un dispositif conçu pour recueillir l'énergie transportée par les radiations solaires, la convertir en énergie calorifique et la transmettre à un fluide caloporteur, il combine deux principes physiques : les effets de serre et du corps noir.

La chaleur produite par les capteurs peut ensuite être utilisée pour [30] :

- Chauffer les locaux et fournir l'eau chaude sanitaire.
- Activer la croissance des végétaux.
- Sécher les grains et les fourrages
- Faire fonctionner des moteurs thermiques
- Alimenter des machines de réfrigération.

Les capteurs plans peuvent assurer des températures variant de 30°C à 150°C et ne nécessitent ni concentration du rayonnement incident, ni un suivi du soleil [30].

Le niveau relativement bas de la température du capteur plan est dû à la réémission par rayonnement du récepteur, et les pertes de chaleur périphérie du capteur [26], [31].

III.2. Les différents composants d'un capteur solaire à eau

Un capteur plan est constitué essentiellement d'une couverture transparente, d'un absorbeur, d'un fluide caloporteur, d'une isolation thermique et d'un coffre (figure III.1).

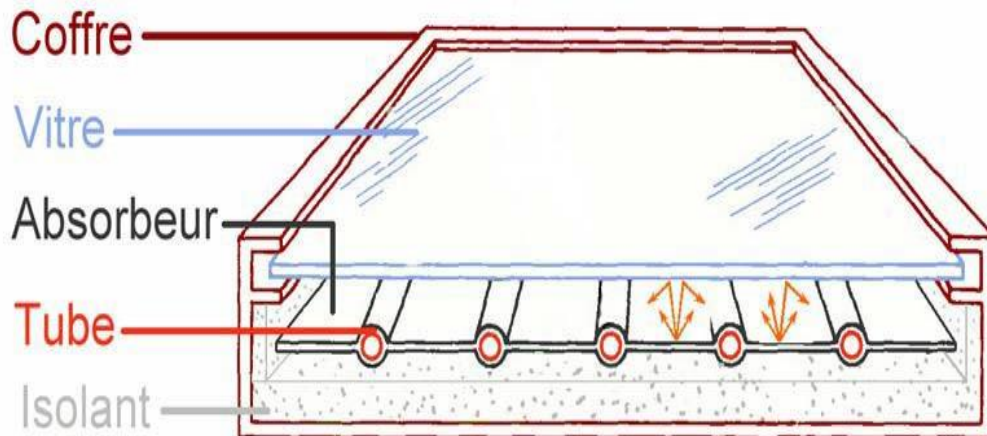


Fig III.1- Composants d'un capteur solaire plan

III.2.1. La couverture transparente

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 (annexe B).

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 [26], [32].

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

III.2.2. L'absorbeur

L'absorbeur est l'élément central du capteur solaire, il absorbe le rayonnement solaire global de courtes longueurs d'onde et le convertit en chaleur [26].

Il est constitué d'une plaque à laquelle sont intégrés des tubes à travers lesquels circule le caloporteur. Le matériau constituant la plaque de l'absorbeur peut être soit métallique soit en matière plastique (annexe B) laquelle est utilisée uniquement dans le cas où un milieu agressif circule directement

CHAPITRE III : Le capteur solaire plan

dans l'absorbeur tel est 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.

Dans le cas des métaux on utilise le cuivre, l'acier inoxydable, ou bien l'aluminium, qui ont de 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 [12].

Les canaux 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 [12].

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 [12].

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].

III.2.3. Le fluide caloporteur

Le fluide de travail 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 de l'eau à laquelle on ajoute un antigel (généralement de l'éthylène glycol) ou

CHAPITRE III : Le capteur solaire plan

bien de l'air. Par rapport à l'eau, l'air a les avantages suivants [26]:

- Pas de problème de gel l'hiver ou d'ébullition l'été.
- Pas de problème de corrosion (l'air sec).
- Toute fuite est sans conséquence.
- Il n'est pas nécessaire d'utiliser un échangeur de chaleur pour le chauffage des locaux.
- Le système à mettre en œuvre est plus simple et plus fiable.

Cependant il présente certains inconvénients, à savoir :

- L'air ne peut servir qu'au chauffage des locaux ou pour le séchage solaire.
- Le produit masse volumique - capacité calorifique, est faible ($\rho.C_p=1225 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$) pour l'air contre $4.2 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$ pour l'eau.
- Les conduites doivent avoir une forte section pour laisser passer un débit suffisant.

III.2.4. 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 :

III.2.4.1. 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 [26]. En plaçant deux vitres, on limite les pertes dues à la réémission ainsi que les pertes par conduction et par convection [26].

III.2.4.2. 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 (annexe B). 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 [26], [12],[33].

CHAPITRE III : Le capteur solaire plan

III.2.5. 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.

III.3. Classification des capteurs

On peut classer les capteurs selon [30] :

III.3.1. Le fluide de travail utilisé

III.3.1.1. Des capteurs solaires à air

Ce type de capteurs s'adapte aux appareils de chauffage à air pour le séchage des produits agro-alimentaires, et le chauffage des locaux.

III.3.1.2. Des capteurs solaires à eau

Ils s'adaptent aux appareils de chauffage à liquide, y compris ceux dont le liquide entre en ébullition pendant le chauffage (la production de l'eau chaude sanitaire).

Les capteurs à eau peuvent être classés en capteurs à :

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

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

III.3.2. L'orientation des capteurs

III.3.2.1. Des capteurs fixes

Ces capteurs ne bougent pas dans la journée, ce qui est le cas des chauffe-eaux solaires domestiques, et présentent les propriétés suivantes :

- * La simplicité et la fiabilité.
- * Un faible entretien.
- * Ils peuvent faire partie intégrante d'une construction (toit ou mur).
- * L'angle d'incidence du rayonnement solaire sur l'absorbeur n'est pas très longtemps chaque jour à son maximum d'efficacité.

CHAPITRE III : Le capteur solaire plan

III.3.2.2. Des capteurs à poursuite

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

III.3.3. Les types des composants

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

III.3.3.1. La couverture

Elle peut exister ou pas, on peut alors trouver :

* Les capteurs solaires plans non vitrés

Ils sont constitués d'un réseau de tubes peints en noir en plastique résistant aux rayons U.V, sans couverture transparente. Ils sont essentiellement utilisés pour le chauffage de l'eau des piscines extérieures en été et assurent des températures relativement basses de l'ordre de 30 à 35°C.

* Les capteurs solaires plans vitrés

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

III.3.3.2. L'absorbeur

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

* Les capteurs plans.

* Les capteurs à cavités.

III.4. Fonctionnement d'un capteur solaire plan

Le principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan est très simple (figure III.2) [34]:

Le rayonnement solaire traverse la vitre et arrive sur l'absorbeur muni d'une surface sélective où il est converti en chaleur à sa surface. Le fluide caloporteur qui circule dans l'absorbeur conduit la chaleur captée vers le consommateur.

Le vitrage est transparent pour le rayonnement visible et le proche I.R mais opaque pour le rayonnement I.R lointain émis par l'absorbeur, ainsi, la couverture transparente crée un effet de serre.

L'isolation thermique en dessous et autour du capteur diminue les déperditions thermiques et augmente ainsi son rendement.

CHAPITRE III : Le capteur solaire plan

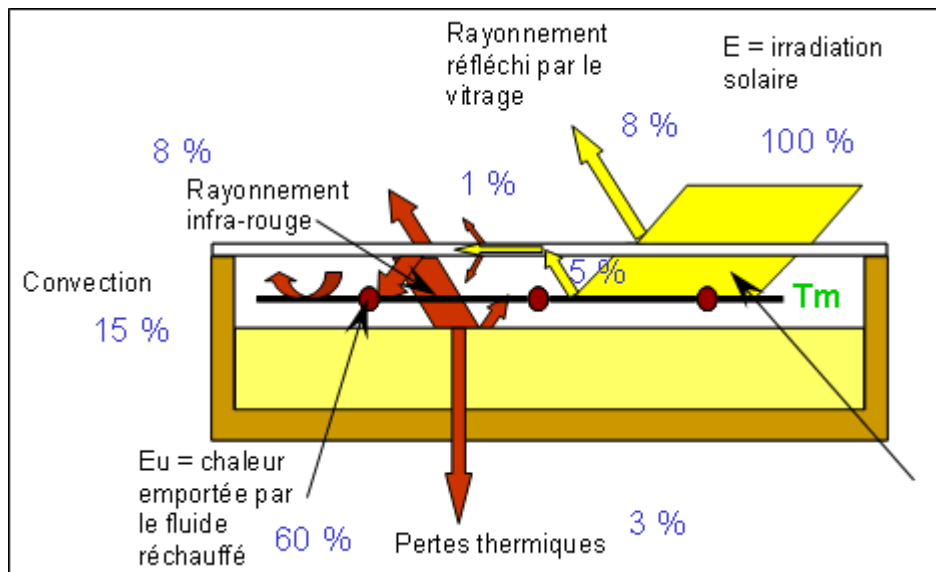


Fig.III.2- Principe de fonctionnement du capteur solaire plan

III.5. Les différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire :

Un capteur solaire met en jeu simultanément les trois modes de transfert thermique, conduction, convection et rayonnement (figure III.3).

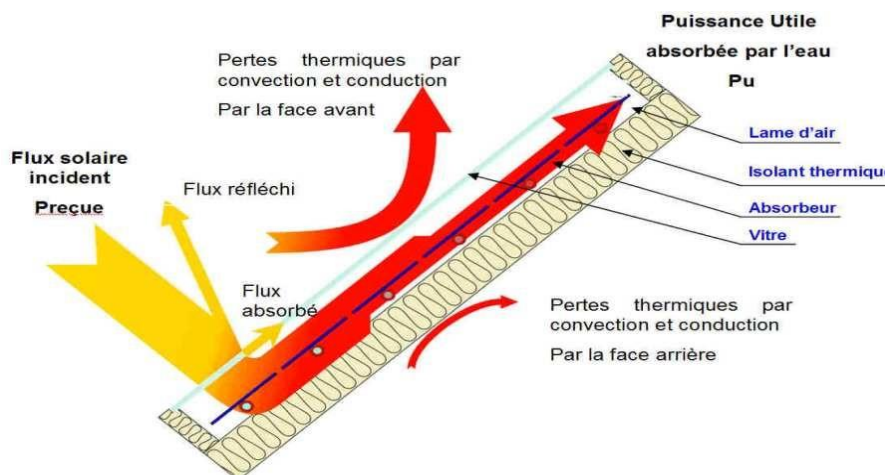


Fig.III.3- Les différents échanges thermiques dans un capteur plan

CHAPITRE IV

Résultats et discussion

CHAPITRE IV : Résultats et discussion

IV.1. Introduction

La modélisation numérique de notre chauffe-eau-solaire ainsi que le rayonnement solaire incident sur ce dernier a été faite à l'aide d'un programme numérique que nous avons développé. Ce code de calcul. Nous a permis d'aboutir à un ensemble de résultats.

Les performances d'un capteur plan qui constitue l'objectif de notre travail, les résultats obtenus par la modélisation numérique représentée par l'influence des différents paramètres interne sur les performances d'un capteur solaire plan. Les calculs a été faite pour le site de Msila.

La résolution du système d'équations des bilans thermiques au niveau de chaque partie du capteur par la méthode itérative de Gauss-Seidel,

Le capteur solaire plan étudié présente les caractéristiques suivantes :

IV.2. Les caractéristiques thermo physiques et géométriques du capteur solaire utilisé

IV.2.1. Caractéristique thermo physique

Elément de construction	Matériaux	Masse volumique (Kg/m ³)	Chaleur spécifique (J/Kg.°K)	Conductivité thermique (W/m.°K)
Couverture transparente	Le verre	2700	840	0.93
L'absorbeur	Cuivre	8900	398	348
Tube	Cuivre	/	/	/
L'isolant	Polystyrène expansé	20	1500	0.04

Tab IV.1- Les Caractéristiques thermo physiques du capteur plan étudié

CHAPITRE IV : Résultats et discussion

IV.2.2. Caractéristiques géométriques

Elément de Construction	Longueur (m)	Largeur (m)	Epaisseur (mm)	Diamètre intérieur (mm)	Diamètre Extérieur (mm)
Couverture transparente	1	1	3	/	/
L'absorbeur	1	1	1	12	14
Tube	0.9	/	/	/	/
L'isolant	1	1	20-160	/	/

Tab IV.2- Les caractéristiques géométriques du capteur plan étudié

Dans le cadre de cette étude nous avons adapté les hypothèses suivantes :

- les calculs sont effectués à Msila en tenant compte des coordonnées géographiques (latitude 35.4° nord, longitude 4.23° Est).
- avec une zone de la condition normale pour un albédo $\rho = 0.2$.
- l'inclinaison du capteur est égale à 25° par rapport à l'horizontale et avec un azimut de 0° par rapport au sud.
- les températures ambiantes ont été données par la formule :

$$T_a(t) = [(T_{a \max} - T_{a \min})/2].\sin[(t-8).\pi/12] + (T_{a \max} + T_{a \min})/2$$

Avec :

$T_{a \max}$: température maximale journalière. $T_{a \min}$: température minimale journalière. t : temps local.

- la température d'entrée d'eau caloporteur est égale à 35°.

IV.3. Variation temporelle du flux solaire

Les figures (IV.1), (IV.2), (IV.3) représentent les variations du flux solaire total, diffus et direct qui concerne la journée du 08 mai 2021. A partir des résultats obtenus on constate que les différentes composantes du rayonnement solaire présentent une évolution de forme Gaussienne, elles présentent des valeurs nulles au lever et au coucher du soleil et présentent leur valeur maximale à midi en temps solaire vrais.

Le flux atteint son maximum à midi solaire, la valeur maximale du flux total est égale à 1023 W/m^2 et celle du flux diffus est égale à 225 W/m^2 . on remarque une symétrie par rapport au midi solaire.

CHAPITRE IV : Résultats et discussion

IV.3.1. Flux total

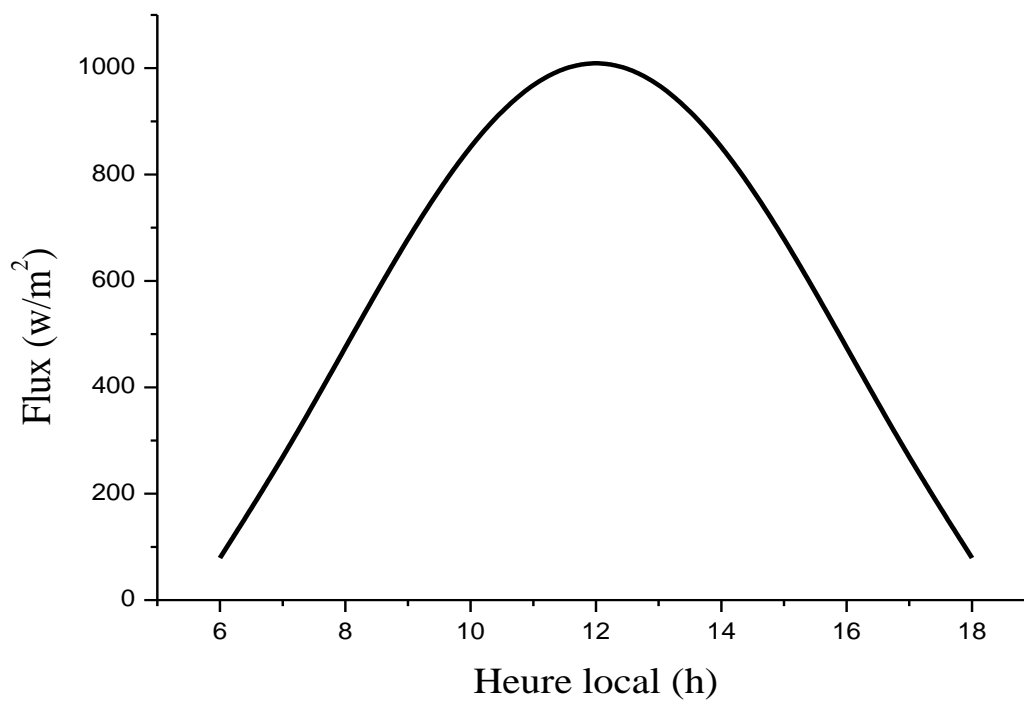


Fig IV.1-Variation du flux solaire total pour la journée de 08 mai 2021

IV.3.2. Flux direct

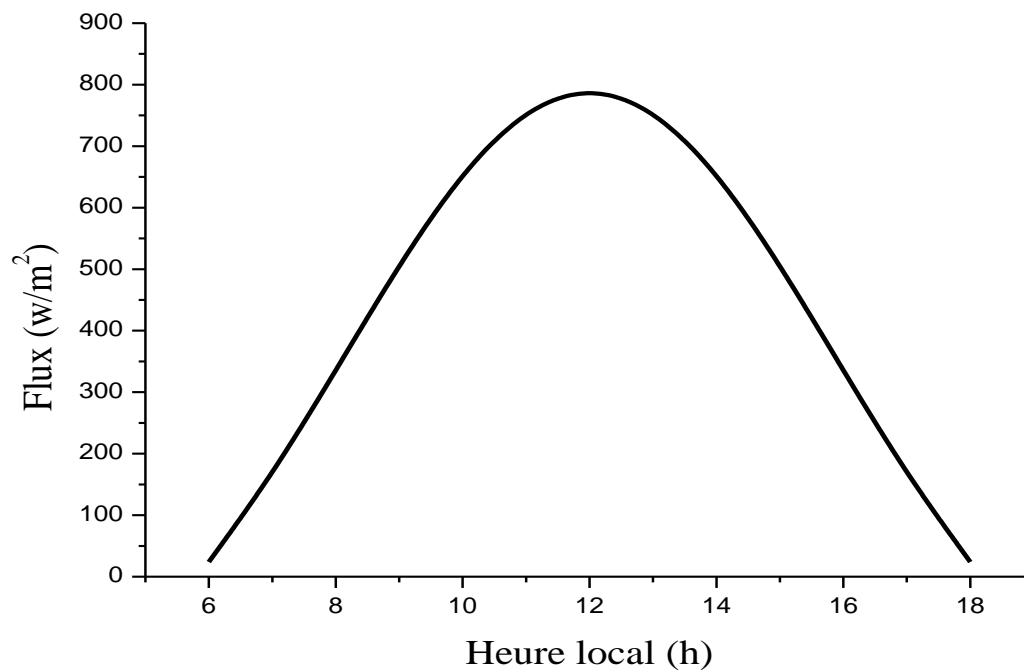


Fig IV.2-Variation du flux solaire direct pour la journée de 08 mai 2021

IV.3.3. Flux diffus

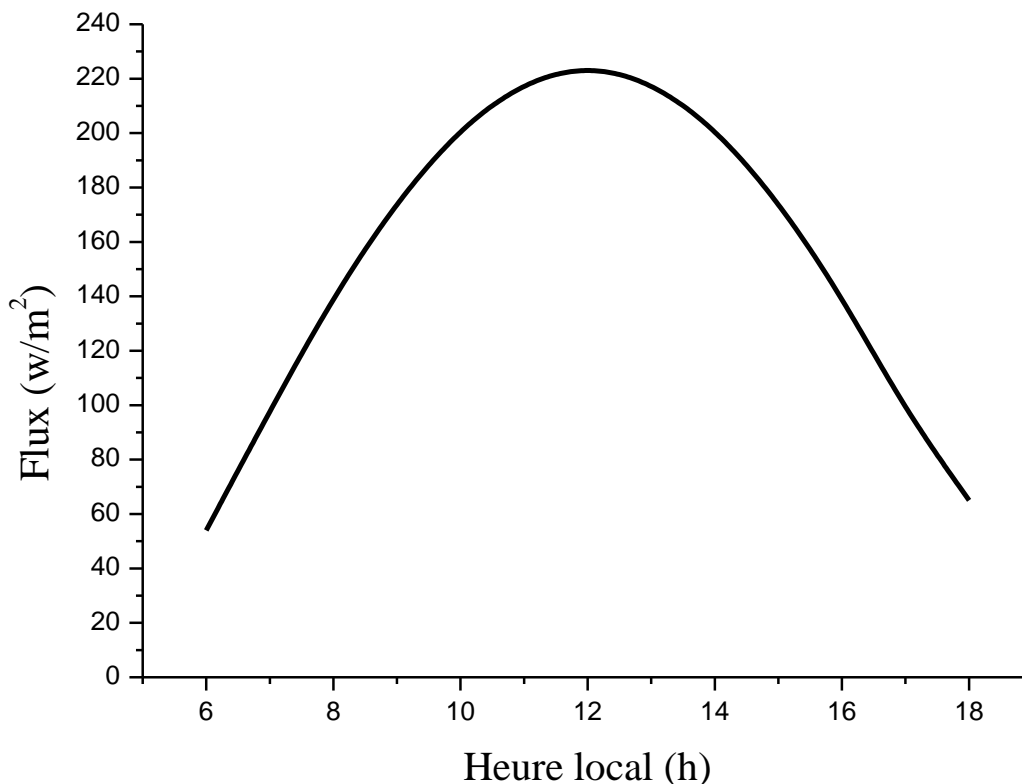


Fig IV.3-Variation du flux solaire diffus pour la journée de 08 mai 2021

IV.4. L'influence de quelques paramètres sur la température sortie d'eau d'un capteur solaire

IV.4.1. L'influence de la vitesse du vent

L'augmentation de la vitesse du vent provoque une augmentation du coefficient d'échange de chaleur par convection ($h_{vv} = 5,7 + 3,8.V$) entre l'extérieur et la vitre du capteur. Ce même coefficient entraîne une autre augmentation sur les pertes avant puisque ce dernier est relié avec le rendement instantané. Cette augmentation des pertes cause une diminution du rendement et de la température sortie de la fluide, les figures (IV.4) et (IV.5) représentent l'influence de la vitesse du vent sur le rendement instantané et la température sortie d'eau. Donc les faibles vitesses sont plus favorables.

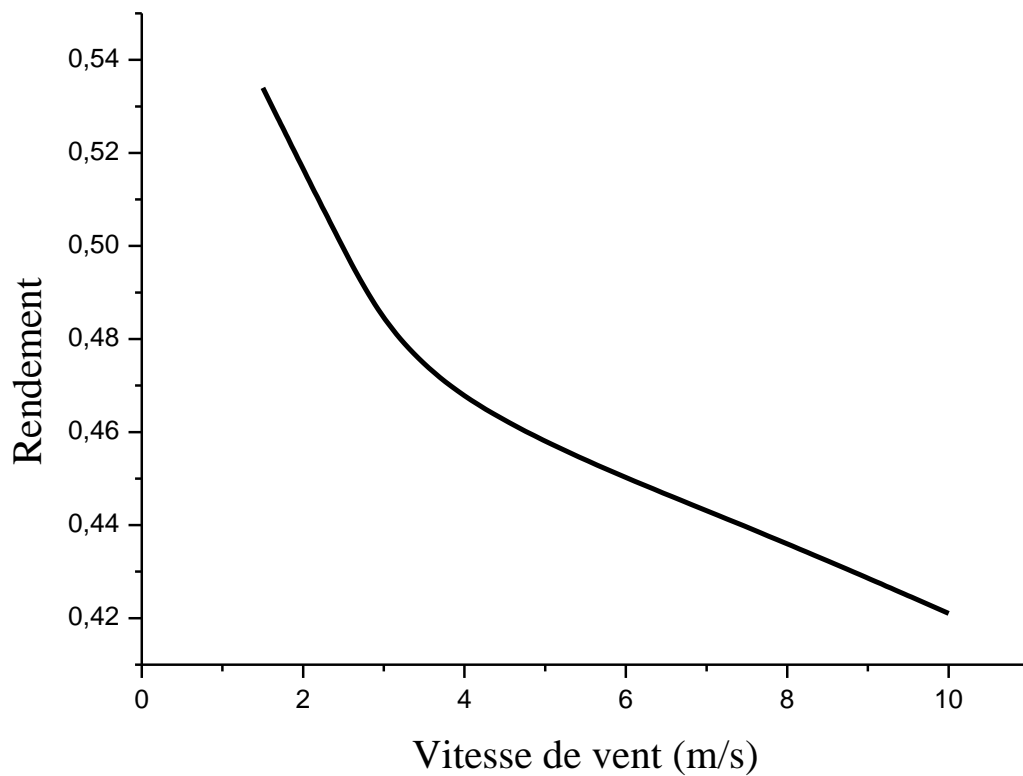


Fig IV .4-Variation du rendement final en fonction de la vitesse de vent

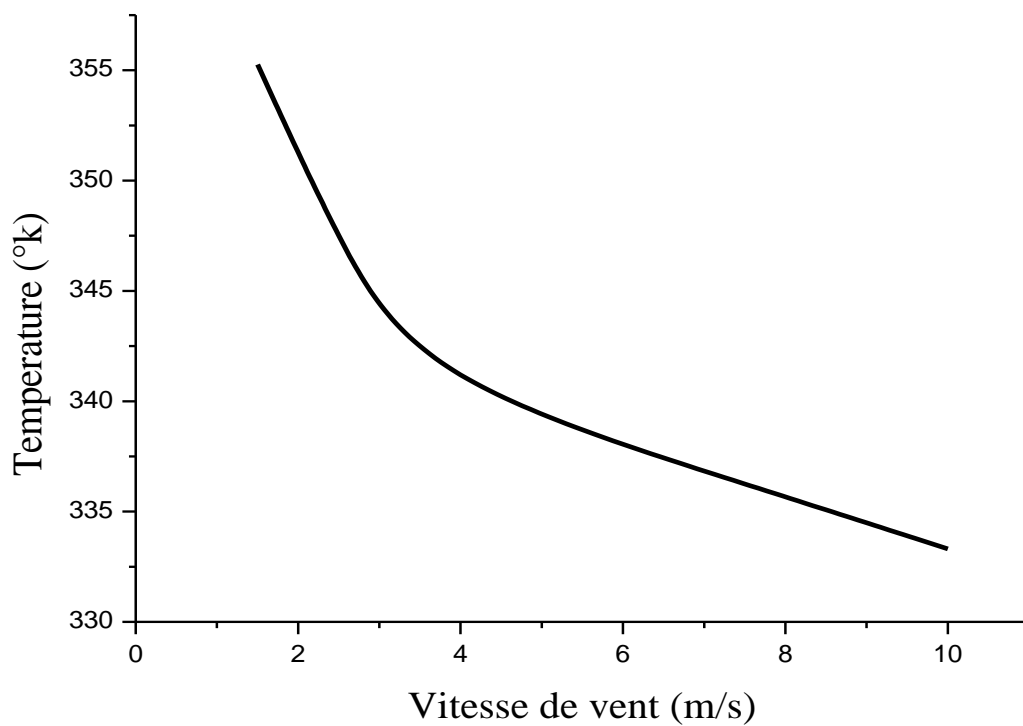


Fig IV.5-Variation de la température du fluide en fonction de la vitesse de vent

CHAPITRE IV : Résultats et discussion

IV.4.2. L'influence de la distance entre l'absorbeur et le vitre

Dans les figures (Fig IV.6) et (Fig IV.7), On remarque que la température et le rendement augmentent rapidement, à partir de l'épaisseur 6 cm, nous remarquons que l'augmentation s'est produite lentement. Par conséquent, nous suggérons que l'épaisseur l'épaisseur entre la vitre et l'absorbeur ne doit pas dépasser 5 cm.

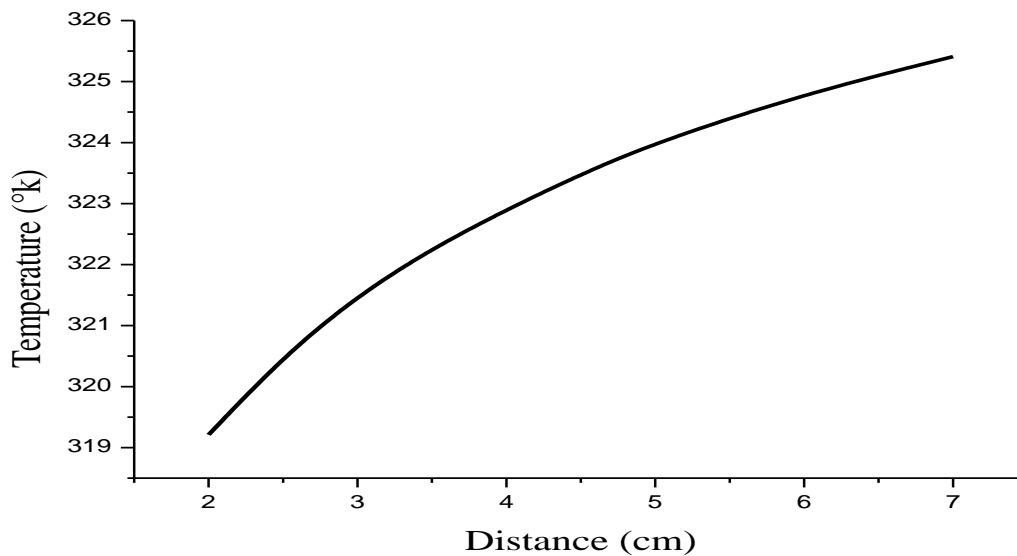


Fig IV.6-Variation de la température sortie du fluide en fonction de la distance entre l'absorbeur et le vitre

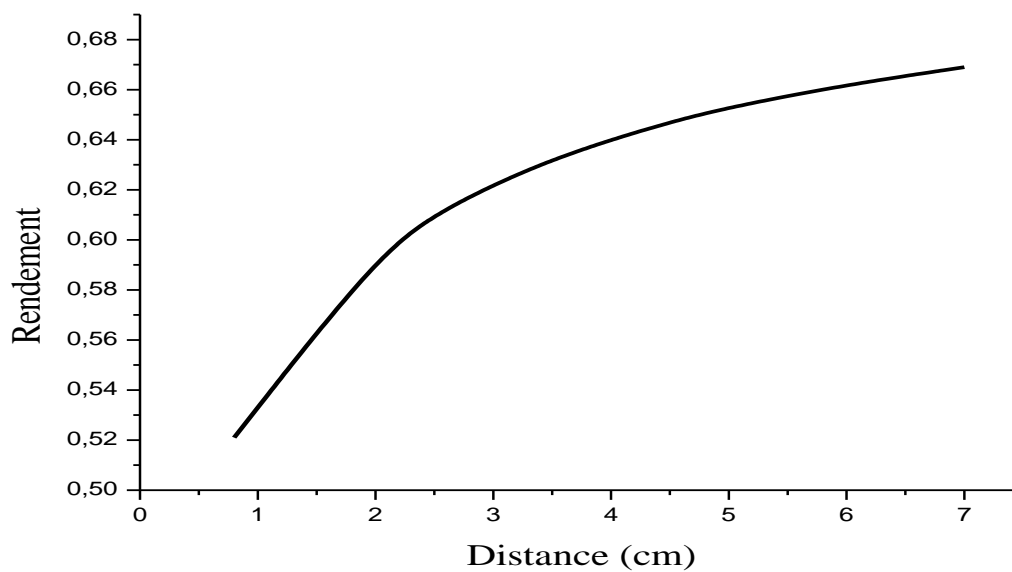


Fig IV.7-Variation du rendement final en fonction de la distance entre l'absorbeur et le vitre

IV.4.3. L'influence de la matière isolante

IV.4.3.1. L'influence de la matière isolante sur la température du fluide et d'isolant

Sur les figures (Fig IV.8) et (Fig IV.9) on peut noter que :

A partir de ces courbes

- On voit que l'évolution des températures des différents éléments présentent sont étroitement liées à celle de l'éclairement que reçoit le capteur et présentent une évolution gaussienne.
- On constate que la température du fluide caloporteur en sortie du capteur atteint 65°C a midi solaire et pour la laine de verre est atteint 61°C a midi solaire toujours, par contre pour le cuivre ne dépasse pas 38°C.
- la température de sortie du fluide lie avec la nature de la matière isolante.

Si on utilise la laine de verre et le sable comme matériaux isolants, ils donnent des valeurs acceptables pour la température de l'eau chauffée, contrairement au cuivre. S'il est utilisé comme matériau isolant, il ne donne pas des valeurs acceptables pour les températures, et puisque le coût du sable est faible, il est donc considéré comme un bon isolant.

Contrairement au cuivre, s'il est utilisé comme matériau isolant, il ne donne pas des valeurs acceptables pour les températures, et comme le coût du sable est faible, il est considéré comme un bon matériau conducteur.

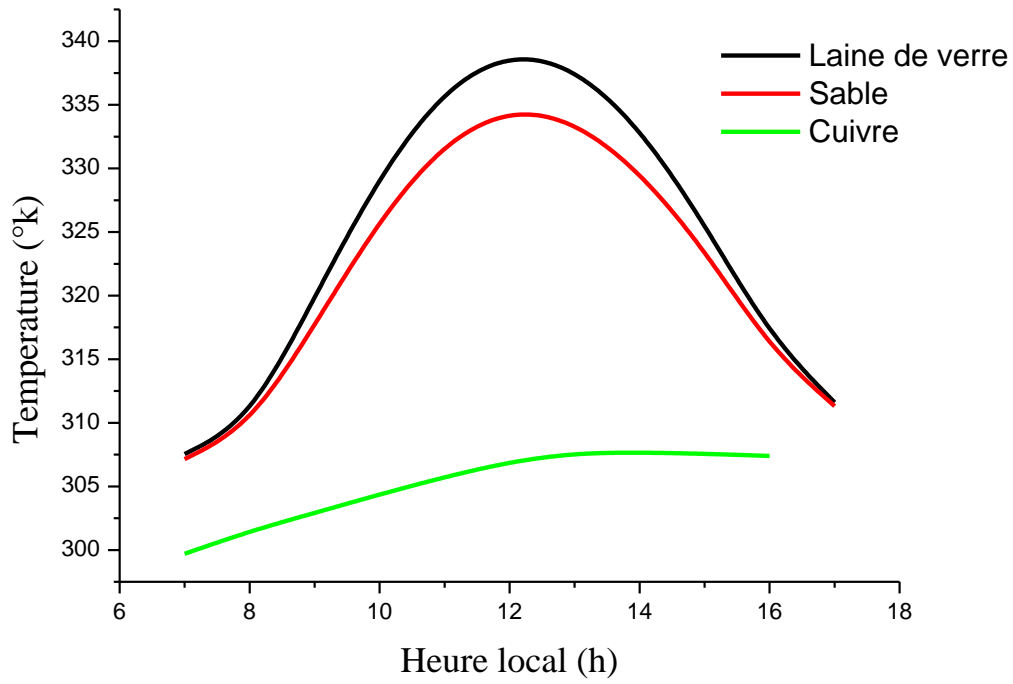


Fig IV.8-la variation temporelle des températures de fluide caloporteur

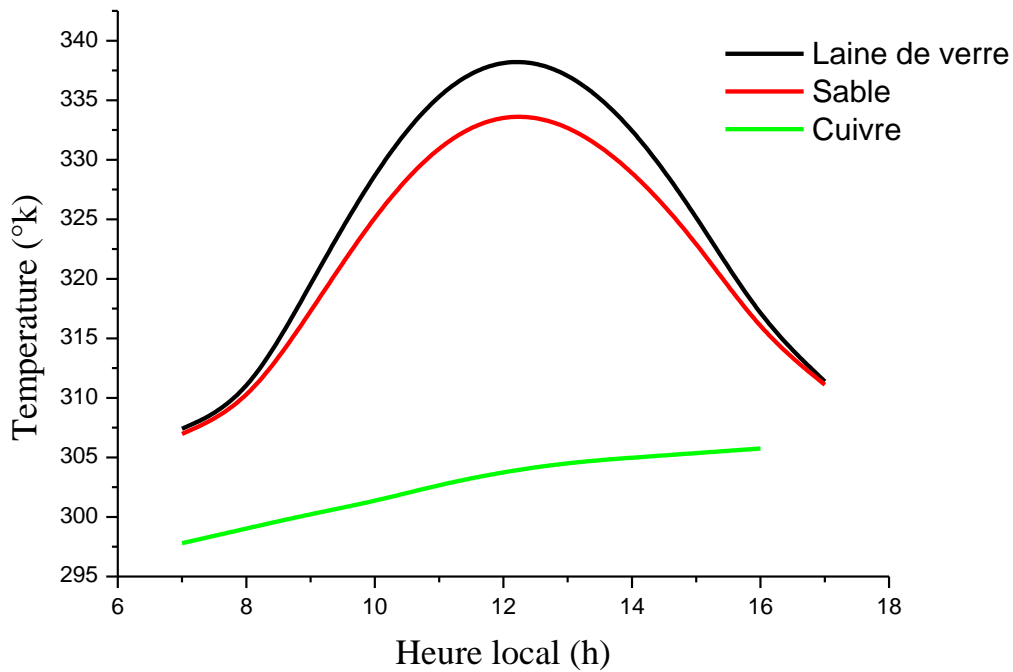


Fig IV.9-la variation temporelle des températures interne de la matière isolante.

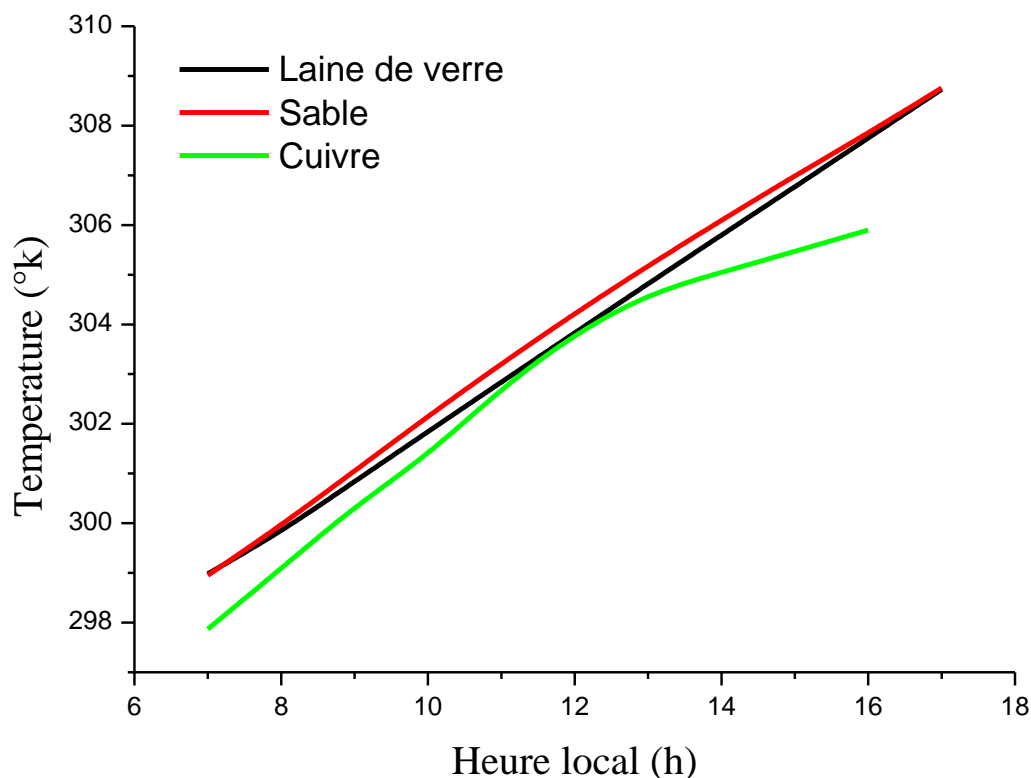


Fig IV.10-la variation temporelle des températures externe de la matière isolante.

IV.4.3.2. L'influence de la matière isolante sur le rendement final

La figure (IV.11) montre l'effet des différents matériaux qui peuvent être utilisés comme isolant sur le rendement du capteur. Du fait de ses propriétés thermo physiques à savoir une faible conductivité thermique et une importante chaleur spécifique.

La laine de verre et le sable comme isolant donne un meilleur rendement par rapport à un isolant en cuivre. Donc le cuivre est considéré comme un mauvais isolant

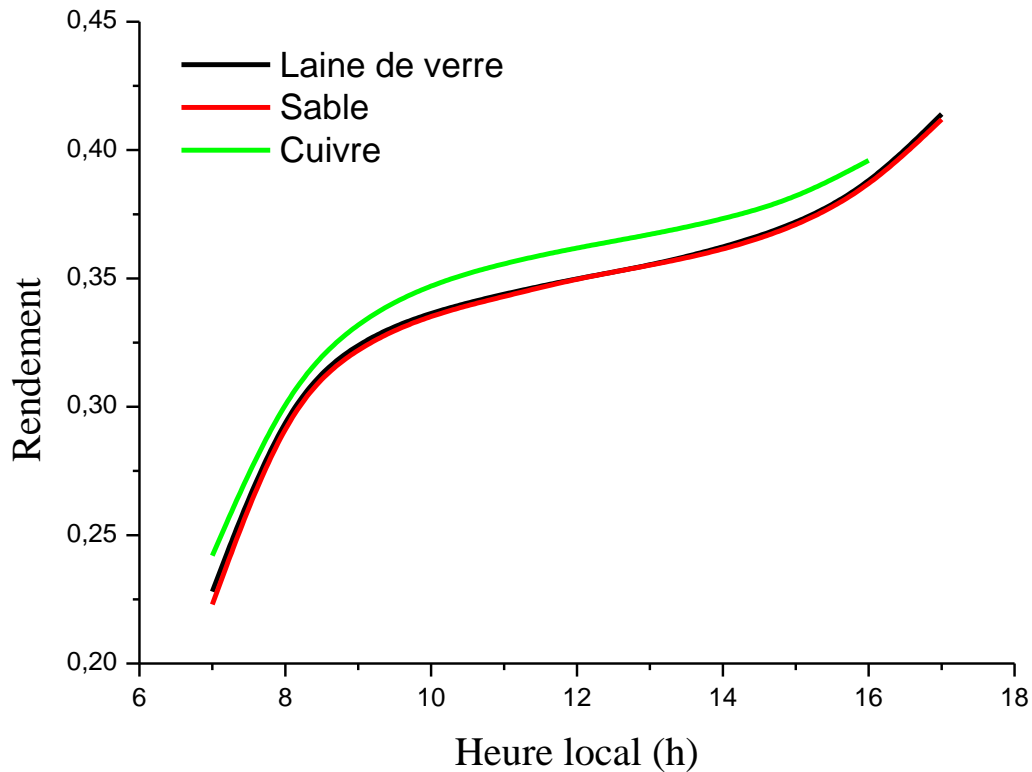


Fig IV.11-l'effet des différents matériaux isolants sur le rendement final

IV.4.4. L'influence de l'épaisseur d'isolant

La figure (IV.12) montre l'influence de l'épaisseur de l'isolant sur le rendement instantané du capteur. On constate que l'épaisseur de l'isolant augmente, la température de fluide et la température interne d'isolant augmente, à partir de l'épaisseur 8 cm l'augmentation est réduite, le contraire pour la température externe d'isolant (elle est diminuée que l'épaisseur augmente). En effet, plus on augmente l'épaisseur de l'isolant plus les pertes du capteur sont faibles et donc un rendement meilleur. Toutefois une optimisation de cette épaisseur est nécessaire pour avoir un meilleur compromis rendement-coût.

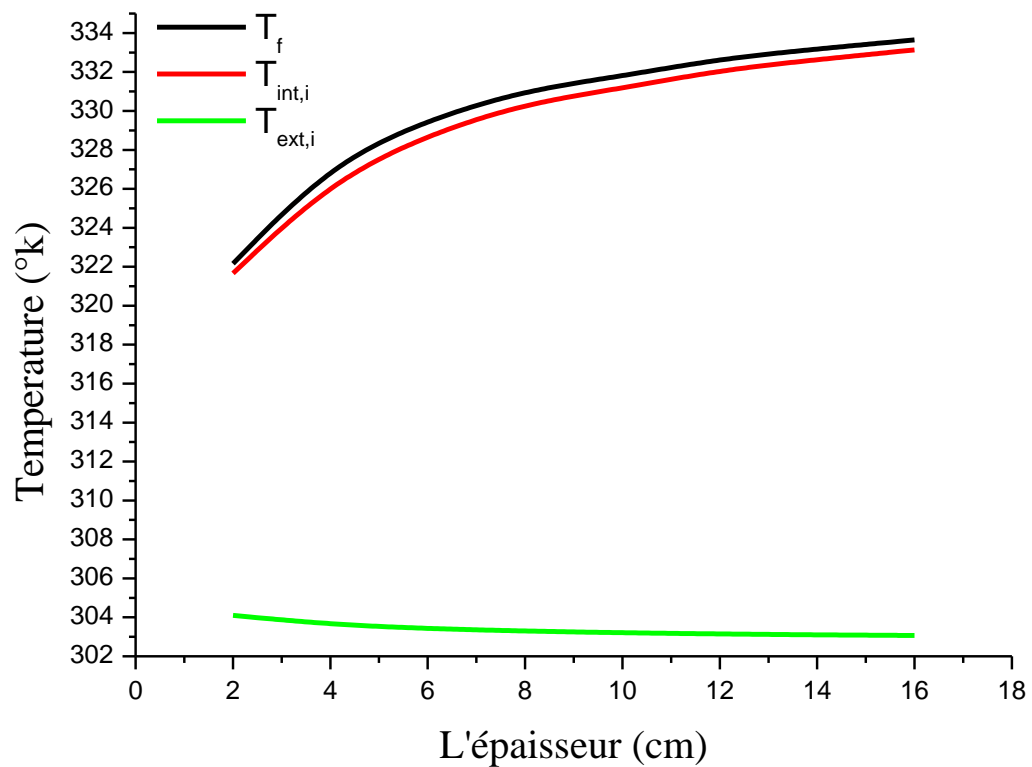


Fig IV.12- Variation de la température (de fluide, interne et externe d'isolant) en fonction de l'épaisseur

- T_f : Température du fluide sortie.
 $T_{int,i}$: Température interne d'isolant.
 $T_{ext,i}$: Température externe d'isolant.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de ce travail, nous avons entrepris une étude numérique d'un capteur solaire plan à eau en régimes permanent.

On a commencé par une présentation sur les différentes modes de transfert de chaleur

Après une présentation détaillée des données astronomiques qui sont nécessaires pour toutes études des systèmes solaires on a dressé un état de l'art des capteurs solaires plans sujet de notre étude.

La résolution du système d'équations discrétisées par la méthode des différences finies a été abordée par une approche numérique basée sur la méthode de Gauss Seidel d'itération.

Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence des paramètres internes sur le rendement instantané du capteur plan. Il apparait clairement que le rendement instantané est une fonction proportionnelle de l'irradiation solaire globale qui joue un rôle prépondérant.

Les résultats obtenus montrent également l'influence des propriétés thermo physiques des quelque composants du capteur sur son rendement instantané. On notera ainsi que :

- La vitesse de vent a un effet négatif sur le rendement instantané du capteur solaire.
- Une certaine distance doit être respectée entre la vitre et l'absorbeur, pour assurer une utilisation maximale du flux captée par le capteur.
- La matière d'isolant joue un rôle important dans la réduction de la quantité du flux perdue.
- L'isolant doit posséder une épaisseur élevée, ainsi qu'une faible conductivité thermique afin d'améliorer le rendement instantané du capteur.

Par ailleurs, pour avoir un bon rendement il faut :

- La vitesse de vent doit être faible.
- Maintenir une faible différence de température entre l'absorbeur et la vitre afin de diminuer les pertes thermiques convectifs à l'avant du capteur (la distance entre la vitre et l'absorbeur doit être entre 5-6 cm).
- Choisir un type de matière isolant adapte et peu couteux (le sable).
- L'isolant doit posséder une épaisseur élevée.

Pour faire un travail en perspective peut être utilisé le thème nano-fluide utilisé dans le transfert chaleur parce qu'il a une conductivité thermique améliorée.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : J. F. Sacadura, Initiation aux transferts thermiques, Technique et Documentation Paris (1982).
- [2] : M. Dagenet, Les séchoirs solaires, théorie et pratique, Unesco, Paris (1985).
- [3] : R. Giblin, Transmission de la chaleur par convection naturelle, Saint-germain Paris (1974).
- [4] : R. Marchal, Transmission de la chaleur par convection dans les tubes, Saint-germain Paris (1974).
- [5] : A. Gouffe, Transmission de la chaleur par rayonnement, Saint-germain Paris (1978).
- [6] : Y. Jannot, Thermique solaire, cours libre 2003.
- [7] : T.A.tawfik hussein, estimation of hourly global solar radiation in egypt using mathematical model, Int. j latest trends Agr. food Sci, (2) (2) (2012).
- [8] : J.hofierka, M. sùri, the solar radiation model for open source GIS: implementation and applications, proceedings of the open source GIS-GRASS users conference, Italy, (2002).
- [9] : I.bostan, A.gheorghe, V.D.sobor, V. Boston, A. Sochirean, resilient energy systems renewables wind, solar, hydro, (2013).
- [10] : Y.jannot, thermique solaire, (2011).
- [11] : <http://nicolaselie.free.fr/tpe/html/mouvements.html>.
- [12] : A,Sfeir ;G, Guarracino. Ingénierie des systèmes solaires, Technique et Documentation, Paris. (1981).
- [13] : Ch, Perrin de Brichambaut; C, Vauge. Le gisement solaire, Technique et Documentation, Paris. (1982).
- [14] : J, A, Duffie; W, A, Beckman. Solar engineering of thermal processes, John Wiley and Sons. (1980). tab
- [15] : O, Sotehi. Etude des caractéristiques de fonctionnement et de la performance d'un distillateur solaire; thèse de magistère, Université de Constantine. (2009).
- [17] : Mr Bouna Ould Zeidane, Contribution to the study of the Grid Connected Photovoltaïque System, Mémoire de magister. 2006.
- [18] : MR Maouedj Rachid, Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur les sites de Tlemcen et de Bouzareah , Mémoire de magister, Université Abou Bekr Belkaïd 2005.
- [19] Gisement-solaire Université de CERGY-PONTOISE_Alain Ricaud_Jan-2011.doc
- [20] : Energie solaire photovoltaïque Semaine 08
www.lei.ucl.ac.be/~matagne/SOLAIRE/SEM08/S08P10.HTM -
- [21] : Les coordonnées horizontales.
- [22] : Site Auresolar université Elhaj Lakhdar Batna www1.univ-batna.dz/labolrb/CUVTBarkat.pdf

- [23] : P, H, Communay. Héliothermique : le gisement solaire, méthodes et calculs, Groupe de Recherche et d'Édition, France. (2002).
- [24] : N, Bellel. Contribution à la réalisation et simulation d'un capteur plan à eau type collecteur ; thèse de magistère, Université de Constantine. (1989).
- [25] : J, Bonal; P, Rossetti. Les énergies alternatives, Omniscience. (2007).
- [26] : U, Eiker. Solar technologies for buildings, John Wiley sans Sons, England. (2001).
- [27] : J, Bernard. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [28] : M, Capderou. Atlas solaire de l'Algérie, O.P.U, Alger. (1985).
- [29] : A, Mefti; M, Y, bouroubi; H, Mimouni. Evaluation du potentiel énergétique solaire, Bulletin des Energies Renouvelables, N°2, p 12, décembre. (2002).
- [30] : K, Merzouk. Potentiel énergétique éolien, Bulletin des Energies Renouvelables, N°1, p 11, Juin. (2002).
- [31] : D, K, Edwards. Capteurs solaires, Edition SCM, paris. (1979).
- [32] : R, Bernard; G, menguy; M, Schwartz. Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications, Technique et Documentation. (1979).
- [33] : A, H, Khedim. Energie solaire et son utilisation sous forme thermique et photovoltaïque, Centre de Publication Universitaire. (2003).
- [32] : S, El Mokretar; R, Miri; M, Belhamel. Etude du bilan d'énergie et de masse d'un séchoir de type serre, applications au séchage des produits agro-alimentaires, Revue des Energies Renouvelables, Vol 7, p 109-123. (2004).
- [34] : N, Bellel. Etude des transferts thermiques le long d'un tube cylindrique appliquée à deux géométries ; thèse de doctorat, Université de Constantine. (2004).

Résumé :

“Etude de l'influence des paramètres internes sur un capteur solaire ”

Dans le cadre de notre travail, on a entrepris une étude des performances d'un capteur solaire plan à eau en régime permanent soumis à un flux de rayonnement solaire variable.

Nous avons établie le bilan thermique pour obtenir l'influence des paramètres internes tels que l'absorbeur et la matière isolante sur l'évolution de la température de sortie du fluide et de rendement de capteur.

L'un de nos objectifs les plus importants, sur lesquels nous sommes concentrés lors de notre travail sur ce mémoire, est de choisir un matériau de qualité appropriée pour l'isolant qui est efficace dans le travail et en même temps à faible coût.

Mots clés : capteur solaire, rayonnement solaire, température de sortie du fluide caloporteur, l'absorbeur, matière isolante.

ملخص:

“دراسة تأثير المؤثرات الداخلية على لاقط شمسي”

من خلال هذه المذكرة، أجرينا دراسة لأداء مجمع شمسي مستوي يخضع لتدفق إشعاع شمسي متغير بينا تأثير المادة الداخلية مثل المادة الممتصة والمادة العازلة على تطور درجة الحرارة عند مخرج السائل وكفاءة المستشعر من أهم أهدافنا التي ركزنا عليها أثناء عملنا على هذه الرسالة هو اختيار المادة مناسبة ذات الجودة للعزل لتكون فعالة في الوظيفة وفي نفس الوقت منخفضة التكلفة.

الكلمات المفتاحية: المجمع الشمسي، الإشعاع الشمسي، درجة حرارة السائل الناتج عن نقل الحرارة، المادة الماصة ، المواد العازلة.

Abstract:

“Study the influence of the internal settings on a solar collector”

As part of our work, we undertook a study of the performance of a permanent water planar solar collector subjected to a variable solar radiation flux. We established the thermal balance to obtain the influence of internal parameters such as the absorber and the insulating material on the evolution of the fluid outlet temperature and sensor efficiency. One of our most important goals, which we have focused on as we work on this dissertation, is to choose a suitable quality material for the insulation that is efficient in the job and at the same time low cost.

Keywords: solar collector, solar radiation, heat transfer fluid outlet temperature, absorber, insulating material.