REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Energie renouvelable
Spécialité : Energie renouvelable en mécanique

ETUDE DE CONCEPTION D'UNE INSTALLATION SOLAIRE THERMIQUE POUR EAU CHAUDE SANITAIRE D'UNE COLLECTIVITE.

Présenté par :

TITRI MOHAMED ABD ELHAFID

DJELOUAH RABAH

Proposé et Dirigé par :

Docteur :ZIRARI Mounir

Doctorant : TERFAI Abdelkrim

Promotion 2019

ملخص:

الإطار الرئيسي الذي تمت دراسته في الملاحظة هو تحويل الطاقة الشمسية تعتبر الطاقة الحرارية ، التي تقضي على استهلاك الكهرباء ، مكلفة للغاية لصالح استهلاك حراري أرخص.

يتعلق العمل المقدم في المذكرة بدراسة وتحسين أداء مجمّع شمسي مزدوج الزجاج. العديد من الابتكارات التقنية لتحسين التكبير من مجمعات الطاقة الشمسية في سمك الأنابيب والسطح وسمك العزل وتدفق كتلة المسافة بين الأنابيب.

ماتلاب طبقنا نموذجًا رقميًا باستخدام محاكيات تشغيل مستشعر الحرارة ، يتم كتابة برنامج الرياضيات بلغة.

كلمات البحث: الطاقة المتجددة ، الطاقة الشمسية الحرارية ، تجميع الطاقة الشمسية المسطحة ، التدفئة المنزلية

Résumé :

Le cadre principal étudié dans le mémoire est la conversion de l'énergie solaire en énergie thermique, qui permettra d'éliminer la consommation d'électricité, qui est très coûteuse au profit d'une consommation thermique moins chère. Les travaux présentés concernent l'étude et l'amélioration des performances d'un capteur solaire double vitrage. De nombreuses innovations techniques pour améliorer le grossissement des capteurs solaires dans l'épaisseur des conduites, la surface et l'épaisseur de l'isolation et le débit de la masse de la distance entre les tubes. Nous avons appliqué un modèle numérique pour les simulateurs de fonctionnement du capteur de chaleur en utilisant une programmation mathématique basé sur le langage de MATLAB ; ainsi les résultats obtenus sont très satisfaisantes :

Mots-clés: énergie renouvelable, énergie solaire thermique, capteur solaire plan, simulation numérique, chauffage de sanitaire.

Summary :

The main framework studied in the note is the conversion of solar energy Thermal energy, which will eliminate the consumption of electricity, is very expensive in favor of cheaper thermal consumption.

The work presented in the note concerns the study and improvement of the performance of a double-glazed solar collector. many technical innovations to improve the magnification of solar collectors in the thickness of the pipes, the surface and the thickness of the insulation and the flow of the mass of the distance between the tubes

We applied a numerical model with operating simulators of the heat sensor, the mathematics program being written in the language of the MATLAB requirement.

Keywords: renewable energy, solar thermal, flat solar collector, home heating.

DEDICACES

Nous dédions ce modeste travail à :

Nos parents.

Nos frères et soeurs.

Nos proches

Tout Nos amis (e).

REMERCIMENT

Ce mémoire n'aurait été possible l'aide de dieu que nous Patience durant toutes ces années d'études et que grâce a lui ce travail a pu être réalisé

Nous tenons à remercier très vivement Monsieur zirari mounir, Professeur à l'université de médea, de nous avoir proposé le sujet, et de son aide précieux qu'elle a toujours bien voulu nous apporter

et Pour avoir dirigé ce travail, pour la confiance et l'intérêt qu'il a témoigné tout au long de la réalisation de ce travail, et aussi monsieur le doctorant abdlharim tarfai pour sa disponibilité ainsi de nous avoir fait bénéficier de ses compétences

Nous adressons notre vif remerciement aux membres de jury d'avoir accepté de juger ce travail.

Nous tenons également à remercier tous ceux qui nous ont aidés de prés ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Figure **Page**

Figure (I.1) : énergie renouvelable éolien. ……..3
Figure (I.2) : énergie renouvelable biomasse. ……..4
Figure (I.3) : énergie renouvelable géothermie……..…..5
Figure (I.4) : énergie renouvelable hydraulique……...5
Figure (I.5) : énergie renouvelable solaire……....6
Figure (I.6) : Évolution annuelle de la constante solaire……..…9
Figure (I.7) : Variation de la déclinaison solaire en fonction du jour
de l'année selon les deux formules proposées……..11
Figure (I.8) : Variation de l'angle horaire en fonction du temps……11
Figure (I.9) : La différence entre le temps solaire vrai et le temps légal……12
Figure (I.10) : Evolution de l'équation du temps…….13
Figure (I.11) : Variation de la hauteur du soleil au cours d'une journée
ont été proposés dans la littérature, parmi lesquels, le modèle de Bird&Hulstrom ……..14
Figure (I.12) : Composantes du rayonnement solaire calculé par le modèle de
Bird&Hulstrom– Site : Médéa……14
Figure (I.13) : Variation de la masse atmosphérique au cours d'une journée……...15
Figure (I.14) : Variation de rayonnement solaire au cours du temps……....19
Figure (II-1) : parabolique…….23
Figure (II-2) centrale a tour. …….23
Figure (II-3) : cylindro_parabolique. ……...24
Figure (II-4) : capteur solaire plan sans vitrage. ……..25
Figure (II-5) : Capteur solaire plan avec vitrage……...25
Figure (II-6) : capteur solaire plan avec double vitrage. ……..……26
Figure (II-7): fonctionnement d'un capteur solaire……..….26
Figure (II-8) : Composants d'un capteur solaire plan**.** ……..27
Figure (IV-1) : Les variations horaires du rayonnement solaire et de la température ambiante
en fonction du temps……38
Figure (IV-2) : Evolution de la température du fluide caloporteur en fonction de temps pour
différentes valeurs de débit massique…….39
Figure (IV-3) : Evolution de la température du fluide caloporteur en fonction de temps pour
différentes valeurs de diamètre. ……..40

Figure (IV-4) : Evolution de la température du fluide caloporteur en fonction de temps pour différentes valeurs épissure de l'isolent……...41
Figure (IV-5) : Evolution de la température du fluide caloporteur en fonction de temps pour différentes valeurs de distance entre les tubes…….42
Figure (IV-6) : Evolution de la température du fluide caloporteur en fonction de temps pour différentes valeurs de la surface de panneau……...43

symbole	Désignation	unité
ρ	Masse volumique de l'eau	$\left[K / \mathrm{m}^3\right]$
C_p	Chaleur spécifique	$\left[J / Kg.K\right]$
$U_{a(edg)}$	Perte de bord	$\left[\mathrm{W/m2\ K}\right]$
ε_{couv}	Émissivité de verre	–
ε_{plaq}	Émissivité de l'absorbeur	–
V	Vitesse de vent	m / s
N	nombre de couverture de verre	–
τ_B	Le rayonnement du faisceau	–
τ_D	Le rayonnement diffus	–
τ_G	Le rayonnement globale	–
ρ_G	Facteur de réflexion l'albédo de sole	–
h_{fl}	Le coefficient de transfert de chaleur entre le fluide et la paroi du tube	$W / m^2.K$
I_b	Rayonnement solaire globale	
W	La distance entre les tubes	$\left[m\right]$
S	L'énergie solaire absorbée par la surface d'absorbeur	$\left[\mathrm{W/\ m^2}\right]$
Q_u	Flux de chaleur	$\left[W\right]$
A_c	Surface de panneau	$\left[m^2\right]$
U_L	Coefficient globales des pertes thermique	$\left[\mathrm{W/m2\ K}\right]$
T_{pm}	Température de la plaque absorbeur moyenne	$\left[C°\right]$
T_a	Température ambiante	$\left[C°\right]$
N	Nombre de couverture de verre	
Pv	Partie absorbé par le vite	
Pr	Partie réfléchi	
Pa	Partie absorbé par l'absorbeur	
β	$collectortilt\left(\mathrm{deg}\right)$	
ε_g	Émissivité de verre	
ε_p	Émissivité de l'absorbeur	
h_w	Coefficient de convection entre le verre supérieure et	

U_t	La somme des transferts de chaleur vers le haut	$[\mathrm{W/m2\ K}]$
U_b	Coefficient des pertes de fond et les cotes	$[\mathrm{W/m2\ K}]$
$\dot{m}$	Débit massique	$[kg/\mathrm{s}]$
K_δ	Conductivité thermique de la plaque absorbante	
C_b	Conductance de liaison	
γ	L'épaisseur moyenne de la liaison	
T_{fs}	Température de fluide a la sortie	$[C°]$
T_{fe}	Température de fluide a l'entré	$[C°]$
F'	Le facteur d'efficacité du collecteur	
D_i	Diamètre intérieur de tube du serpentin de fluide caloporteur	$[m]$
h_{fi}	Le coefficient de transfert de chaleur entre le fluide et la paroi du tube	
T_{fs}	Température de fluide	$[C°]$
F''	Débit de facteur de capteur	
Ep	Épaisseur de l'isolent	$[m]$
T_{fm}	Température de fluide moyenne	$[C°]$
mf	Débit massique de fluide caloporteur	$[kg/\mathrm{s}]$

INTRODUCTION GENERALE

Le gaspillage effréné des combustibles fossiles (charbon, gaz naturel et pétrole) a épuisé en moins d'un siècle la quasi-totalité de ce que la nature avait patiemment fabriqué et conservé au sein de la terre pendant des millions d'années.

En outre, le manque de solutions satisfaisantes à la gestion des déchets nucléaires et les risques liés à cette source d'énergie, ainsi que la limitation des émissions des gaz à effet de Serre, imposent la sagesse de rechercher de nouvelles sources d'énergies [1]. Le soleil, le vent, L'eau, la biomasse, énergies inépuisables et non polluantes semblent une solution fort attrayante comme remplacement graduel ou en complément aux sources conventionnelles [2].

L'Algérie qui dispose d'un potentiel solaire exceptionnel avec plus de 3000 heures d'ensoleillement et une superficie de 2381745 Km2 a décidé de mettre en place une stratégie pour développer différentes applications de l'énergie solaire et notamment les systèmes à concentration solaire pour la production d'électricité et l'énergie thermique et qui seraient profitables aux régions du sud.

C'est dans ce sens que notre intérêt a porté sur l'étude d'un capteur solaire plan

Afin d'estimer la température de sortie du fluide caloporteur, l'énergie absorbée par ce dernier et le rendement thermique instantané du système, un bilan thermique à été établi au niveau de tous les composants du capteur solaire plan a double vitrage.

Ce mémoire est structuré comme suit:

- Dans le premier chapitre, nous avons donné quelques généralités sur les énergies renouvelables et L'énergie solaire thermique et les rayonnements solaires et gisement solaire.

- le deuxième chapitre est consacré sur le capteur solaire plan a double vitrage, on a vu Les capteurs à concentration et sans concentration.

- La modélisation mathématique des phénomènes physiques qui se produisent dans le capteur á double vitrage étudié, fait l'objet du troisième chapitre.

L'ensemble des résultats obtenus dans le cadre de ce travail et leur interprétation sont présentés dans le dernier chapitre.

CHAPITRE I :
ENERGIE SOLAIRE

I.1.Introduction

L'épuisement des énergies fossiles, le manque de solutions satisfaisantes à la gestion des déchets nucléaires et les risques liés à cette source d'énergie, ainsi que la limitation des émissions des gaz à effet de serre ont suscités un engouement aux énergies renouvelables et en particulier à l'énergie solaire.

I.2. Les énergies renouvelables

Fournies par le soleil, le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau, les marées ou encore la croissance des végétaux, les énergies renouvelables n'engendrent pas ou peu de déchets ou d'émissions polluantes. Elles participent à la lutte contre l'effet de serre et les rejets de CO_2 dans l'atmosphère.

Le solaire (photovoltaïque, ou thermique), l'hydroélectricité, l'éolien, la biomasse, la géothermie sont des énergies à flux inépuisable par rapport aux combustibles fossiles.

I.2.1. L'éolien (le vent)

L'énergie éolienne est dispersée, incontrôlable et aléatoire, une fois captée, elle est propre, inépuisable et gratuite **[1].** A partir du vent, on peut fabriquer de l'électricité, ce qui permet de mettre en œuvre des sources autonomes de courant.



Figure (I.1) : énergie renouvelable éolien.**[16]**

I.2.2. La biomasse

La conversion de l'énergie solaire par les plantes grâce à la photosynthèse regroupe l'absorption du rayonnement solaire, sa transformation en énergie et le stockage de celle-ci sous forme de matière organique (biomasse) **[1].** Néanmoins le rendement de cette production est très bas, du fait que seule une fraction très faible de l'énergie solaire parvient aux feuillages.

Gaz carbonique + eau + soleil matière organique + oxygène



Figure (I.2) : énergie renouvelable biomasse. **[16]**

I.2.3. La géothermie

La géothermie est la chaleur interne de la terre. A partir de la surface du sol de la planète, la température progresse d'environ 1°C, tous les trente mètres, à certains endroits, elle augmente encore plus rapidement **[1]**.

Cette énergie souterraine peut assurer le chauffage de locaux, piscines et serres agricoles et la production d'eau chaude sanitaire.

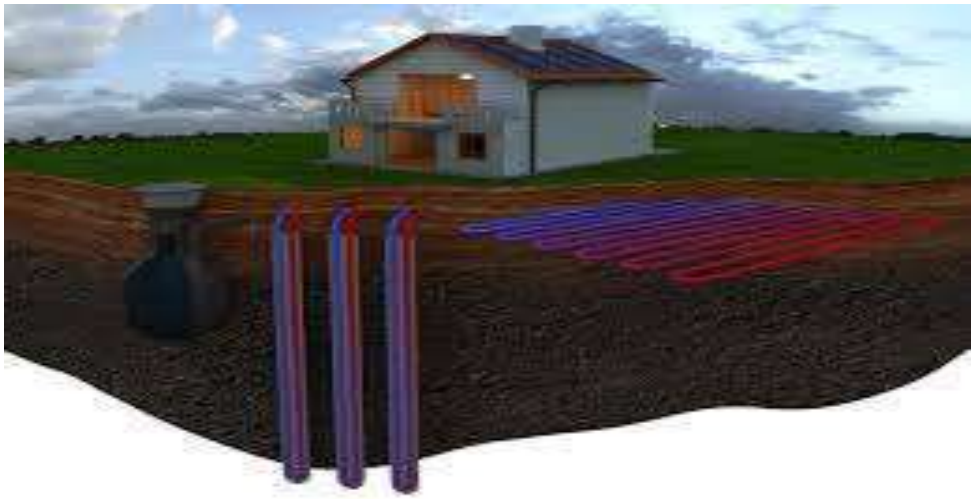


Figure (I.3) : énergie renouvelable géothermie. **[16]**

I.2.4. L'hydraulique

En descendant du haut des collines et des montagnes, l'eau porte en elle une énergie formidable, gratuite et inépuisable. Au passé l'homme, a utilisé cette énergie pour faire tourner des moulins. Actuellement, de l'électricité est produite grâce à des centrales hydroélectriques.



Figure (I.4) : énergie renouvelable hydraulique. **[16]**

I.2.5. l'énergie solaire

L'énergie émise par le soleil, parvient à la terre sous forme de rayonnement électromagnétique. L'énergie solaire disponible au cours du trajet soleil/atmosphère extérieur de la terre est égale à 1400 W/m2. Mais une grande partie de ce rayonnement solaire est perdue par absorption dans les couches atmosphériques et par réflexion terrestre, il en résulte qu'au cours d'une journée ensoleillée, la quantité d'énergie solaire réellement disponible à la surface de la terre dans la direction du soleil n'est que de 1000 W/m2.

L'énergie solaire disponible dépend principalement de l'emplacement géographique, de la position du soleil dans le ciel, des conditions météorologiques, de la technologie utilisée et de l'application (chauffage, refroidissement, production d'énergie électrique). L'énergie solaire n'émet aucun gaz à effet de serre, elle est disponible partout, gratuite, inépuisable, non polluante et facile à transformer.

On utilise généralement la chaleur transmise par le rayonnement, plutôt que le rayonnement lui-même.

La technologie qui nous permet l'exploitation de l'énergie solaire utilise des systèmes appelés capteurs solaires (sans ou avec concentration).



Figure (I.5) : énergie renouvelable solaire. **[16]**

I.2.6. L'énergie solaire thermique

L'énergie solaire thermique est dérivée du rayonnement du soleil qui augmente la température d'un corps exposé sous ce rayonnement. Cette source d'énergie est connue depuis très longtemps et utilisée dans la vie quotidienne. L'énergie solaire est essentiellement utilisée pour le chauffage de l'eau, de l'air, ou d'un bâtiment tout entier. Côté technique, deux méthodes sont appliquées pour transformer le rayonnement solaire en énergie thermique **[3]** :

- Soit en concentrant et en collectant la chaleur grâce à des panneaux noirs.
- Soit en concentrant les rayons en un seul endroit.

Le principal intérêt de l'énergie solaire thermique, c'est sa simplicité : les panneaux destinés au chauffage sont simples, solides, résistants et durables.

I.2.7. Rayonnement solaire

Le rayonnement est le transfert d'énergie par ondes électromagnétiques. Le rayonnement se produit directement de la source vers l'extérieur dans toutes les directions. Ces ondes n'ont pas besoin d'un milieu matériel pour se propager, elles peuvent traverser l'espace interplanétaire et atteindre la Terre depuis le Soleil **[4]**.

La longueur d'onde et la fréquence des ondes électromagnétiques sont importantes pour déterminer leur énergie, leur visibilité et leur pouvoir de pénétration

I.2.7.1 Rayonnement solaire diffus

Le rayonnement diffus est aussi appelé rayonnement indirect. Le rayonnement solaire diffus représente la portion du rayonnement solaire qui a touché au moins une particule de gaz atmosphérique en modifiant l'angle d'incidence et qui, cependant, atteint le sol car il est dirigé vers elle. Augmente par rapport au total dans le ciel nuageux. En particulier, la diffusion de Rayleigh de la composante bleue du rayonnement solaire est responsable de la couleur bleue du ciel. Une partie du rayonnement diffus est de retour vers l'espace.

I.2.7.2 Rayonnement solaire incident

Le rayonnement solaire incident est ce rayonnement qui a rencontré tout obstacle auquel il a donné tout ou partie de son énergie. L'énergie qui n'atteint pas la surface de la terre est dite éteinte et est formée par un rayonnement réémis, réfléchi et rétrodiffusé dans l'espace.

Selon la loi de Lambert, la quantité de rayonnement frappant l'unité de surface est proportionnelle au cosinus de l'angle d'incidence.

La quantité maximale de rayonnement solaire incident est obtenue avec une incidence perpendiculaire, puisque l'angle augmente, à la fois la surface affectée par la même quantité de rayonnement et l'épaisseur de l'atmosphère traversée par ces augmentations. Cela crée les variations quotidiennes, annuelles et latitudinales de l'irradiation.

I.2.7.3 Rayonnement solaire réfléchi

Le rayonnement solaire réfléchi est la partie du rayonnement solaire incident réfléchie par la surface de la terre en raison de l'effet albédo. L'albédo est le coefficient de réflexion c. Les valeurs de c sont généralement comprises entre 0 et 1 ou sont exprimées en pourcentage. Il est donné par la relation entre l'énergie rayonnante réfléchie par une surface par rapport à l'énergie incidente. La Terre a une valeur moyenne de 40% (c = 0,4). À l'altitude de l'albédo terrestre, nous ajoutons les rayonnements réfléchis par les particules atmosphériques dans l'espace.

I.2.7.4 Rayonnement solaire absorbé

Après déduction de toutes les pertes dues à la réflexion et rétrodiffusion de l'atmosphère et la surface de la Terre, le rayonnement solaire qui est absorbée par la surface de la Terre et contribue donc à son chauffage, d'une manière variables en fonction de la latitude et du type de surface.

I.3. Rayonnement Solaire à l'Extérieur de l'Atmosphère

Le rayonnement solaire extraterrestre est en fonction de la constante solaire I_0 et de la correction de la distance entre la terre et le soleil. La constante solaire est le flux énergétique reçu par une surface unité. Dans notre cas, la valeur qui a été retenue en1980 est : $I_0 = 1367$ (W m−2) I0 est variable autour de l'année puisque la distance terre soleil est elle-même variable (Trajectoire elliptique) **[5].** La correction terre soleil est donnée par :

$$I_{sc} = I_0 \times \left[1 + 0.033 \times \cos\left(\frac{360}{365}(N-3)\right)\right] \quad (1)$$

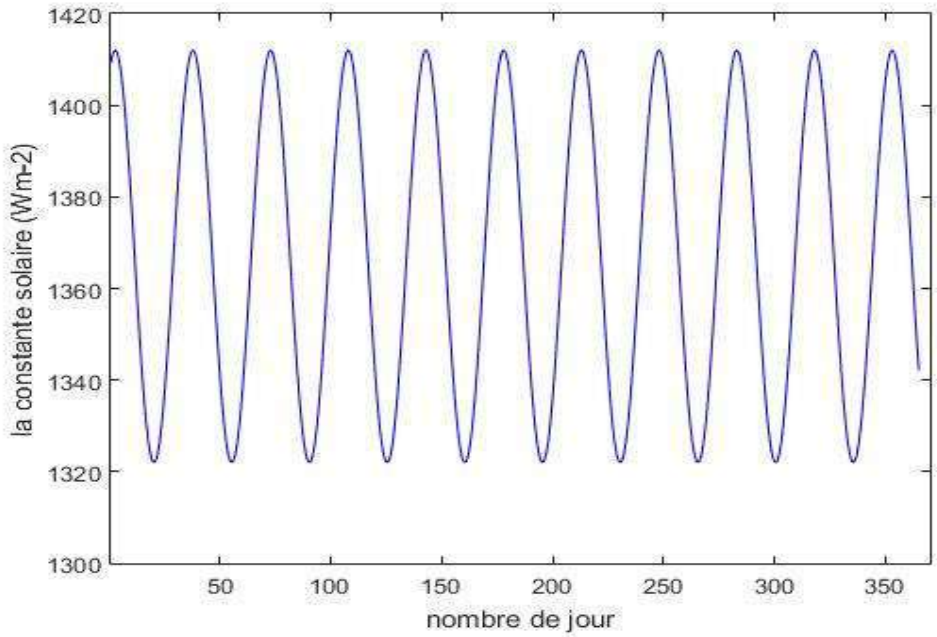


Figure (I.6) : Évolution annuelle de la constante solaire

N : est le numéro du jour de l'année à partir du premier janvier.

I.4. Mouvement de la Terre autour du Soleil

La terre décrit autour du soleil une orbite elliptique quasi-circulaire avec une période de 365,25 jours. Le plan de cette orbite est appelé plan de l'écliptique. C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est le plus près du soleil : 147millions de Km et au solstice d'été qu'elle en est le plus éloigné : 152 millions de Km, la distance moyenne étant de 149,5 millions de Km. La terre coupe le petit axe de son orbite aux équinoxes de printemps (21 Mars) et d'automne (21 septembre). Elle tourne sur elle-même avec une période de 24 heures. Son axe de rotation (l'axe des pôles) a une orientation fixe dans de l'écliptique.

I.5. Paramètres géographiques

La Terre est séparée par l'équateur en deux demi sphères, l'hémisphère Nord pour celle située du côté du pôle Nord, et l'hémisphère Sud pour celle qui est située du côté du pôle Sud. D'autre part, elle est partagée d'Ouest en Est, par le méridien d'origine qui passe par Greenwich (près de Londres en Angleterre).

- **La latitude**

La latitude d'un lieu est une valeur angulaire, expression du positionnement nord-sud de l'équateur, d'un point sur la Terre. Théoriquement, elle a pour valeur, 0° à l'équateur jusqu'à 90° aux pôles, elle est comptée positivement de (0 à +90°) vers le Nord et négativement de (0 à -90°) vers le Sud. Généralement, cette grandeur est notée φ.

- **La longitude**

La longitude d'un lieu est une valeur angulaire, expression du positionnement Est-Ouest d'un point sur Terre par rapport au méridien d'origine. C'est donc une mesure angulaire sur 360° par rapport à un méridien de référence, avec une étendue de +180°à-180°ou180° Està180° Ouest. Généralement, cette grandeur est notée Lon .

- **L'altitude**

L'altitude exprime un écart entre un point donné et un niveau moyen, le plus souvent le niveau de la mer (ou niveau 0). Les sommets sont associés à une altitude, calculée par divers moyens indirects (géodésie, triangulation).

- **Position du Soleil**

La position du soleil est repérée à chaque instant de la journée et de l'année par deux systèmes de coordonnées différentes.

- **Coordonnées équatoriales**

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

I.6 Déclinaison solaire

La déclinaison du soleil δ est l'angle que fait, la direction du soleil avec le plan équatorial de la terre . La déclinaison varie de -23°27' au solstice d'hiver à +23°27' au solstice d'été et elle est nulle aux équinoxes **[6].** La déclinaison solaire est bien représentée par la formule suivante :

$$\delta = 23.45 \times \sin\left[\frac{360}{365} \times (N - 81)\right] \quad (2)$$

On a aussi l'équation proposé par Cooper qui est donnée par :

$$\delta = 23.45 \times \sin\left[\frac{360}{365} \times (N + 284)\right] \quad (3)$$

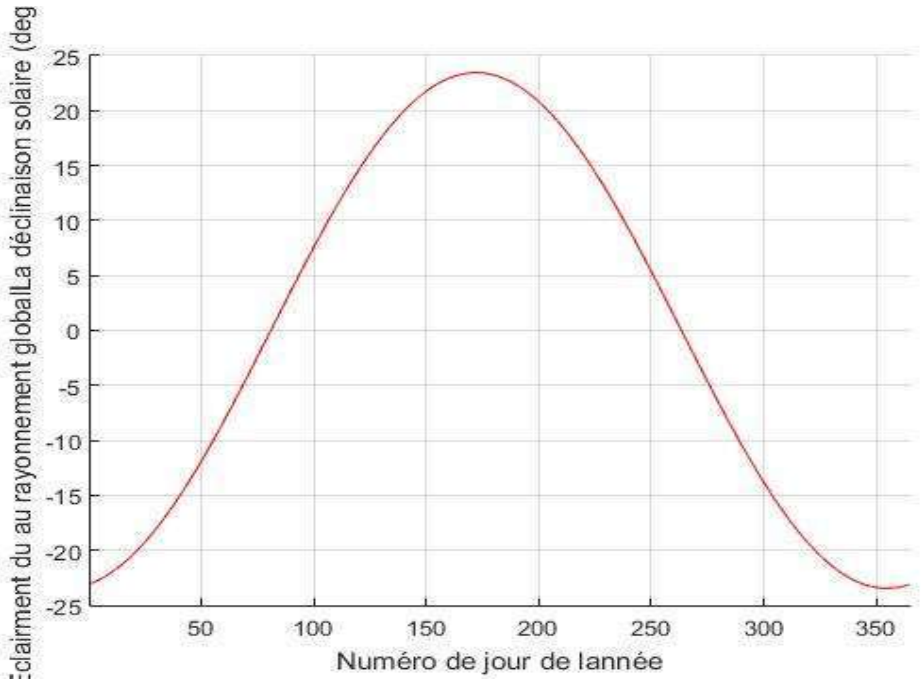


Figure (I.7) : Variation de la déclinaison solaire en fonction du jour de l'année selon les deux formules proposées.

I.7 Angle horaire

L'angle horaire ω étant l'angle formé par le plan méridien passant par le centre du soleil et le plan vertical du lieu (méridien) définit le temps solaire vrai TSV **[7].** L'angle horaire est donné par l'équation suivante :

$$\omega 1 = 0.261799 \times (\mathrm{TSV} - 12) \tag{4}$$

Pour calculer l'angle horaire, Capderou dans l'Atlas Solaire de l'Algérie **[8],** a utilisé la formule suivante

$$\omega 2 = 15 \times (\mathrm{TSV} - 12) \tag{5}$$

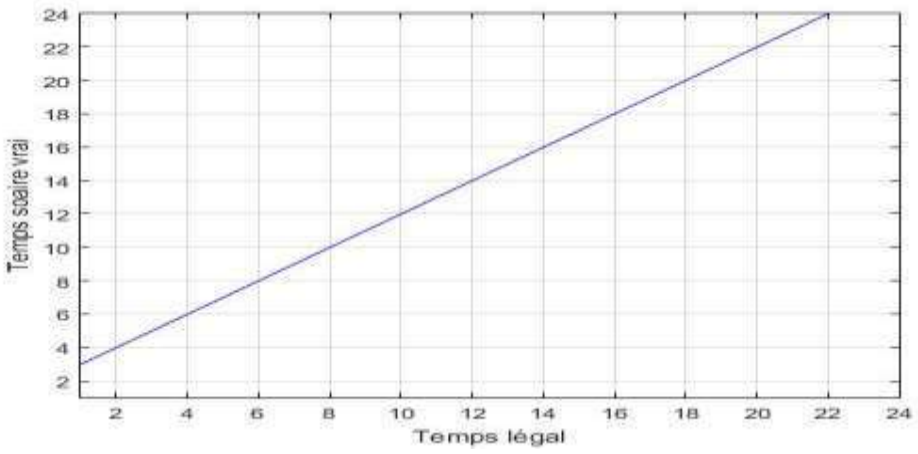


Figure (I.8) : Variation de l'angle horaire en fonction du temps

I.8 Temps solaire vrai

Le temps solaire vrai est défini à partir de la rotation de la terre sur elle-même. Il est donc directement lié à l'angle horaire. La terre fait un tour complet en 24H. Il est midi (12H) lorsque le soleil est au zénith, on a donc **[8]**

$$TSV = TL - DE\left(\frac{E_t + 4Lon}{60}\right) \quad (6)$$

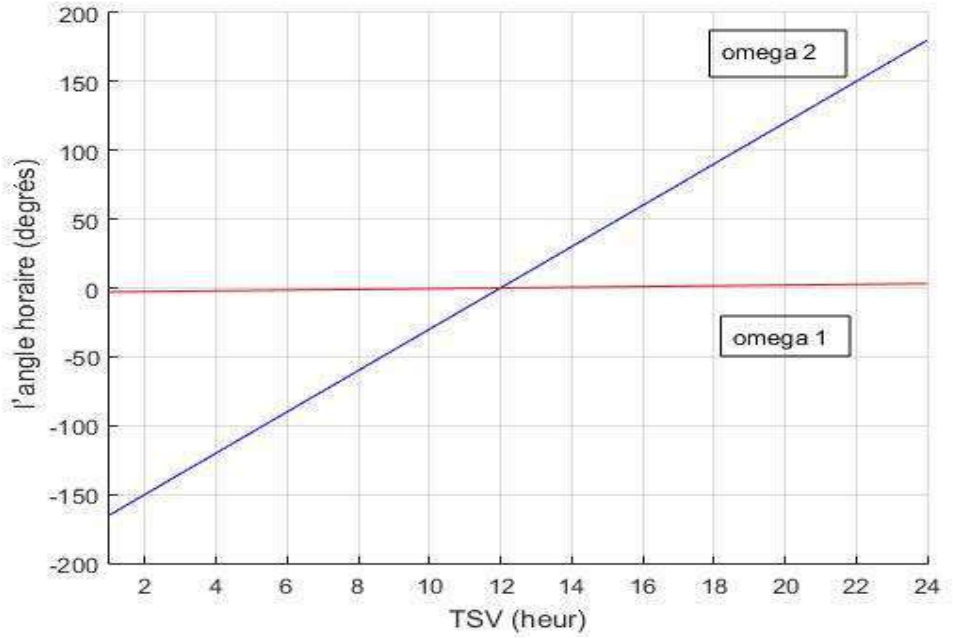


Figure (I.9) : La différence entre le temps solaire vrai et le temps légal

TSV : Temps solaire vrai qui est égal au temps légal corrigé par un décalage dû à l'écart entre la longitude du lieu et la longitude référence.

TL : temps légal (donné par une montre).

DE : décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich (égale 1 pour l'Algérie).

Et : est la correction de l'équation des temps. Cette correction varie au cours de l'année de −14, 3 (mn) à 16, 4 (mn). Elle peut être calculée par la formule approchée (10) :

$$E_t = 9.87 \times \sin(2N_p) - 7.53 \times \cos(N_p) - 1.5 \times \sin(N_p) \quad (7)$$

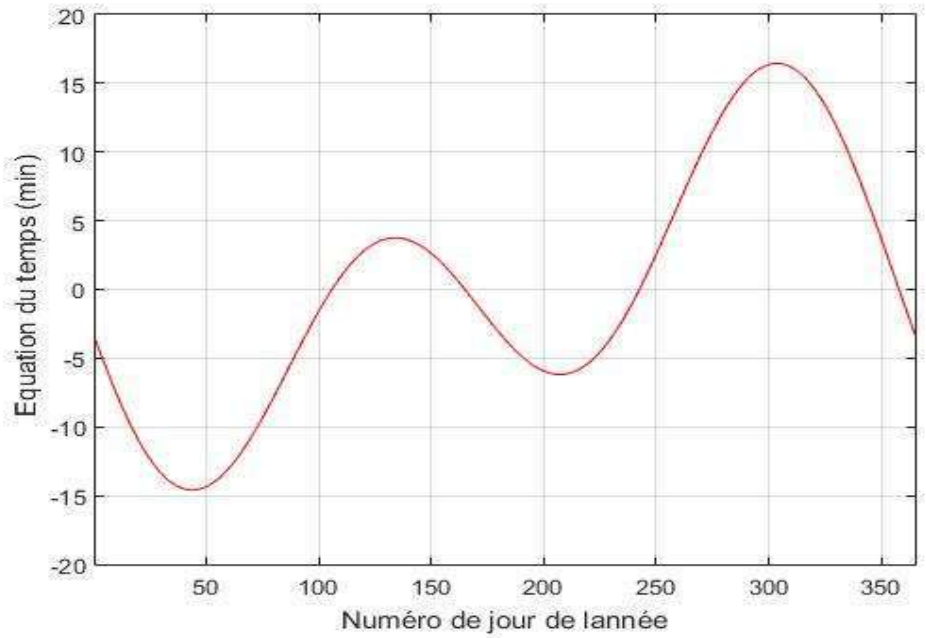


Figure (I.10) : Evolution de l'équation du temps.

Et : calculée en minutes et en fraction décimale de la minute.

$$N_p = 2\pi \times \frac{N}{356,\ 25} \tag{8}$$

Lon : Longitude du lieu, en degrés.

I.9 Coordonnées horizontales

Le repère horizontal est formé par le plan de l'horizon astronomique et le vertical du lieu. Dans ce repère, les coordonnées sont la hauteur h et l'azimut a.

I.10 Hauteur du soleil

La hauteur du soleil (h) est l'angle que fait, le plan horizontal avec la direction du soleil, la valeur (h) = 0 correspond au lever et au coucher du soleil, la hauteur du soleil varie entre +90° (zénith) et -90° (nadir). La hauteur du soleil est bien représentée par une formule bien connue, qui avait été également adoptée par Capderou

$$h = \sin^{-1}\left[\cos(\delta)\times\cos(\varphi)\times\cos(\omega)+\sin(\varphi)\times\sin(\delta)\right] \tag{9}$$

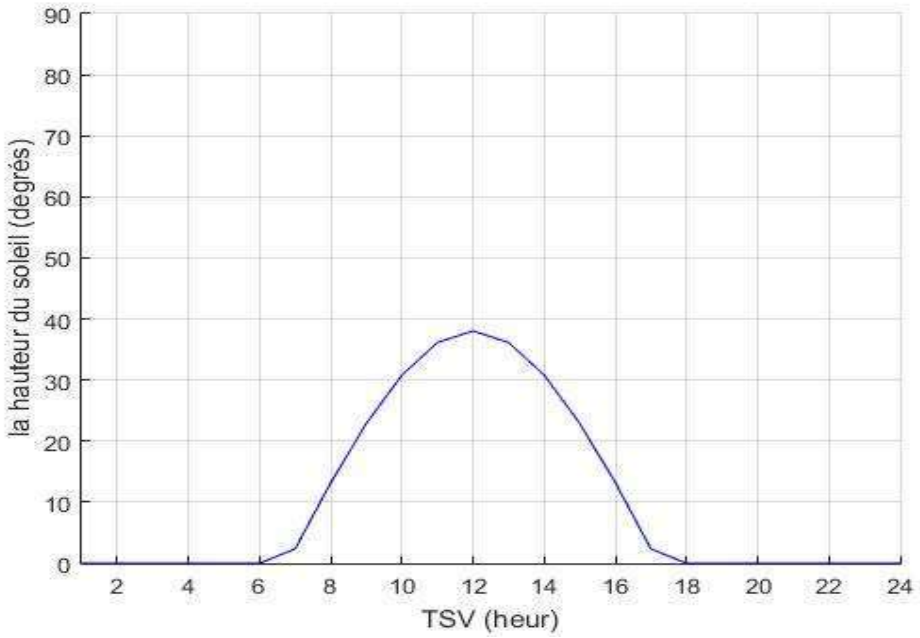


Figure (I.11) : Variation de la hauteur du soleil au cours d'une journée

L'angle zénithal

$$\theta_z = 90^\circ - h \qquad (10)$$

I.11 Les modèles semi empiriques

Les modèles semi empiriques utilisent des relations mathématiques en fonction de la masse d'air pour calculer les effets des constituants de l'atmosphère (intégrés sur tout le spectre) sur l'atténuation du rayonnement direct et la création du rayonnement diffus. Plusieurs modèles ont été proposés dans la littérature, parmi lesquels, le modèle de Bird&Hulstrom **[9].**

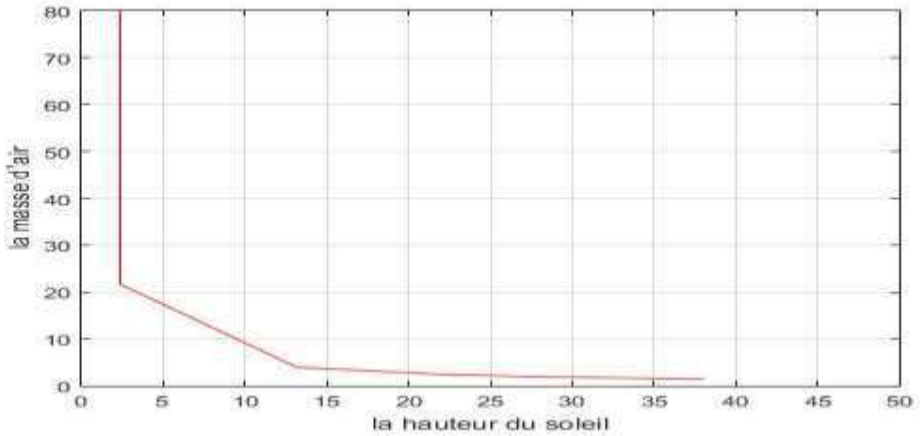


Figure (I.12) : Composantes du rayonnement solaire calculé par le modèle de Bird&Hulstrom– Site : Médéa

$\theta_z(°)$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	85
F_C	0.92	0.92	0.90	0.90	0.90	0.85	0.78	0.68	0.60	0.50

I.12 Modèle de Bird et Hulstrom

En 1981, Bird et Hulstrom **[4]** ont développé un modèle mathématique qui permet de calculer le rayonnement solaire incident sur le sol. Ce modèle tient compte des effets de diffusion et d'absorption que subit le rayonnement solaire lors de sa traversée de l'atmosphère. Il est basé sur la détermination des coefficients de transmission des différents constituants atmosphériques. Ces coefficients nécessitent la disponibilité des paramètres météorologiques courants (l'humidité relative, la température ambiante, la pression atmosphérique,…) et des paramètres géographiques (latitude, longitude et altitude).

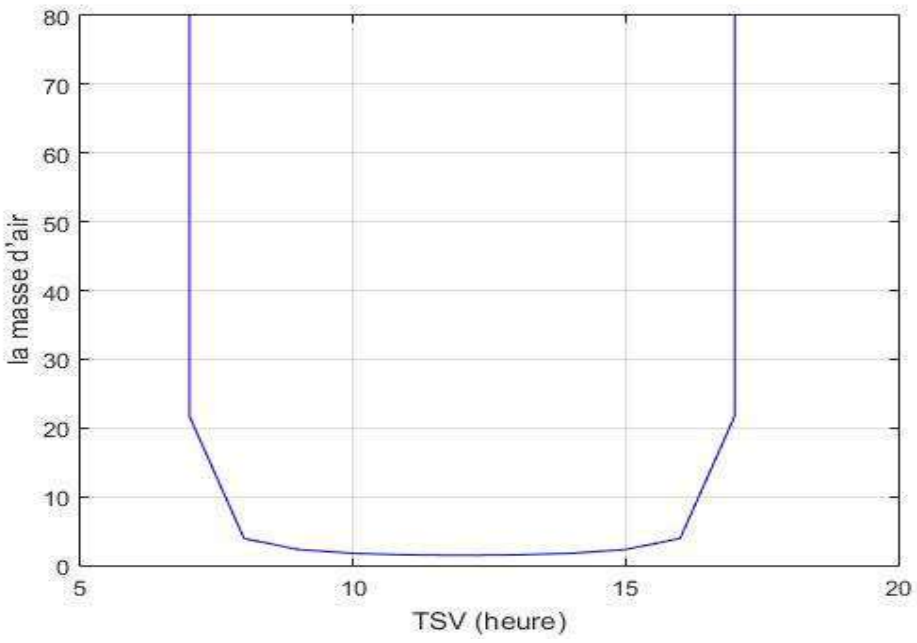


Figure (I.13) : Variation de la masse atmosphérique au cours d'une journée

I.13 Calcul du rayonnement direct

L'éclairement dû au rayonnement direct sur un plan horizontal est donné par la relation :

$$I = 0.9751 \times I_{SC} \times \tau_r \times \tau_g \times \tau_0 \times \tau_W \times \tau_a \times \cos(\theta_z) \quad (11)$$

Où, le coefficient d'absorption par la couche d'ozone τ_0 est donné par :

$$\tau_0 = 1 - 0.1611 \times U_0 \times (1.0 + 139.48 \times U_0)^{-0.3035} \times 0.002715 \times U_0 \times (1 + 0.044 \times U_0 + 0.0003 \times U_0^2)^{-1} \quad (12)$$

Où l'épaisseur de la couche d'ozone corrigée par le trajet optique du rayonnement solaire à travers cette couche et définie par :

$$U_0 = L \times m_r \quad (13)$$

Où m_r est la masse d'air optique relative

$$m_r = \left[\cos\theta_z + 0.15(93.885 - \theta_z)^{-1.253}\right]^{-1} \quad (15)$$

Et, L représente la quantité d'ozone à la verticale du lieu (épaisseur de la couched'ozone réduite (cm) NTP)

$$L = \left\{235 + \left[150 + 40\sin\left(0.9856(N-30)\right) + 20\sin(3lon)\right]\left[\sin^2(1.28\varphi)\right]\right\}/1000 \quad (16)$$

Le coefficient de transmission après absorption du rayonnement solaire par lavapeur d'eau est donné par :

$$\tau_\omega = 1 - 2.4959 \times U_W \times \left[(1 + 79.03 \times U_W)^{0.6828} + 6.385 \times U_W\right]^{-1} \quad (17)$$

U_W Est l'épaisseur d'eau condensable à la verticale du lieu (cm

$$U_W = \frac{0.493}{T} HR \times \exp\left(26.23 - \frac{5416}{T}\right) \quad (18)$$

Avec m_a la masse d'air corrigée exprimée par :

$$m_a = m_r \left(\frac{P}{1013}\right)^{0.75} \times \left(\frac{273}{T}\right)^{0.5} \quad (19)$$

P est la pression atmosphérique (mbar). Elle peut être calculée à partir de

$$P = P_0 \exp(-0.0001184 \times z) \quad (20)$$

P_0 est la pression atmosphérique au niveau de la mer (P_0 = 1013 mb); z , l'altitudedu site (m), par rapport au niveau de la mer; Ta , la température ambiante (K) et HR ,l'humidité relative(%).

Le coefficient de transmission après absorption par les gaz permanents (CO2 et O2)s'exprime en fonction de la masse d'air corrigée à l'aide de l'équation (21) :

$$\tau_g = \exp\left(-0.0127 \times m_a^{0.26}\right) \quad (21)$$

Où, m_a est la masse d'air corrigée exprimée par l'équation (19).

Le coefficient de transmission après la diffusion moléculaire s'exprime aussi enfonction de la masse d'air par :

$$\tau_r = \exp\left[-0.0903 \times m_a^{0.84}\left(1.0 + m_a - m_a^{1.01}\right)\right] \quad (22)$$

Et le coefficient de transmission après la diffusion par les aérosols peut se calculerpar :

$$\tau_a = \exp\left[-k_a^{0.873} \times m_a^{0.9108} \times \left(1.0 + k_a - k_a^{0.7088}\right)\right] \quad (23)$$

Où

$$k_a = 0.2758 \times k_{a\lambda/\lambda=0.38\mu m} + 0.35 \times k_{a\lambda/\lambda=0.5\mu m} \quad (24)$$

$k_{a\lambda/\lambda=0.38\mu m}$ et $k_{a\lambda/\lambda=0.5\mu m}$ Sont deux coefficients d'atténuation déterminés àpartir des mesures expérimentales déduites par l'équation (25).

$$k_a(\lambda) = \beta \times \lambda^{-\alpha} \quad (25)$$

Où, α est le coefficient de distribution granulométrique et β le coefficient de troubleatmosphérique établi par Angstrom et déterminés dans la section (2.2.1). Ces valeursnous ont permis de calculer $k_{a\lambda/\lambda=0.38\mu m}$ et $k_{a\lambda/\lambda=0.5\mu m}$.

I.14 Calcul du rayonnement diffus

le rayonnement diffus sur un plan horizontal est la somme destrois composantes diffuses dues aux divers types de diffusion du rayonnement solairepar la pellicule atmosphérique.

$$D = D_r + D_a + D_m \quad (26)$$

Le rayonnement diffus issu de la diffusion de Rayleigh est donné par :

$$D_r = 0.79 \times I_{SC} \times \cos(\theta_z) \times \tau_0 \times \tau_g \times \tau_W \times \tau_{aa} \times 0.5 \times \frac{\left(1 - \tau_r\right)}{\left(1 - m_a + m_a^{1.02}\right)} \quad (27)$$

Où, τ_{aa} est donnée par l'expression suivante :

$$\tau_{aa} = 1-(1-\omega_0)\times\left(1-m_a+m_a^{1.06}\right)\times(1-\tau_a) \quad (28)$$

Et ω_0, est le coefficient de réflexion unitaire relatif à la diffusion par les aérosols. Dans Ce modèle, Bird & Hallström recommandèrent $\omega_0 = 0{,}90$.

Le rayonnement diffus après la diffusion par les aérosols est donnée par :

$$D_a = 0.79\times I_{SC}\times\cos(\theta_z)\times\tau_0\times\tau_W\times\tau_{aa}\times F_C\times\frac{(1-\tau_{as})}{\left(1-m_a+m_a^{1.02}\right)} \quad (29)$$

Où F_C, est le coefficient de dispersion de l'atmosphère. $F_C = 0.84$ est la valeurrecommandée par ce modèle.

τ_{as} Est donné par la relation suivante :

$$\tau_{as} = \tau_a / \tau_{aa} \quad (30)$$

Le diffus dû au phénomène de multi réflexion terre atmosphère est donné par :

$$D_m = \frac{(I+D_a+D_r)\times\rho\times\rho'_a}{(1-\rho_g\times\rho'_a)} \quad (31)$$

ρ Est l'albédo du sol, dont les valeurs sont données dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Quelques valeurs d'albédo

Type de surface	Albédo (0 à 1)
Surface de lac	0,02 à 0,04
Forêt de conifères	0,05 à 0,15
Surface de la mer	0,05 à 0,15
Sol sombre	0,05 à 0,15
Cultures	0,15 à 0,25
Sable léger et sec	0,25 à 0,45
Glace	environ 0,60
Neige tassée	0,40 à 0,70
Neige fraîche	0,75 à 0,90
Miroir	1

Avec, ρ est l'albédo terrestre, et, ρ_a est l'albédo du ciel clair donné par :

$$\rho'_a = 0.0685+(1-F_C)\times(1-\tau_{as})$$

I.15 Calcul du rayonnement global

Le rayonnement global sur un plan horizontal est la somme des deux composantessolaires directe et diffuse soit :

$$G = I + D \quad (32)$$

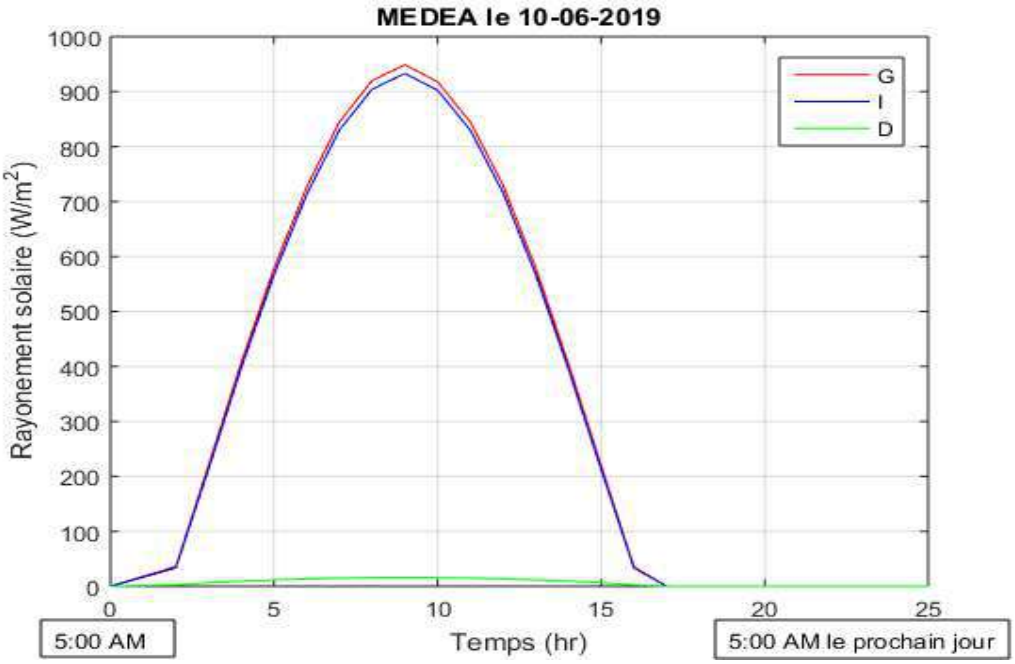


Figure (I.14) : Variation de rayonnement solaire au cours du temps.

Site	Date	Latitude	Longitude	Altitude
Médéa	10/06/2019	36.28°	2.73°	981 m

I.16. Applications à basses et hautes températures

I.16 .1 Applications à basses températures

- **Le chauffage**

Le système solaire permet d'utiliser la chaleur produite pour les besoins d'eau chaude sanitaire, le chauffage d'habitats

- **Le dessalement des eaux**

Le dessalement de l'eau de mer est désormais un principe envisageable, voire nécessaire pour obtenir de l'eau potable. Le solaire thermique paraît être le mieux adapter à le réaliser

- **Le séchage solaire des fruits**

Les fruits peuvent être séchés grâce à l'énergie solaire. Ils sont disposés dans une enceinte à l'intérieur de laquelle un courant d'air circule au-dessus des fruits.

I.16 .2 Applications à hautes températures

- **L'électricité**

Le système de turbine à vapeur pour la production d'électricité présente un danger environnemental, puisqu'il dégage du CO2 et contribue ainsi au réchauffement climatique.
Nous pouvons alors envisager de remplacer la chaudière à gaz qui entraine la turbine par des collecteurs solaires, cylindro_paraboliques, qui engendrent des fluides caloporteurs à haute température et par suite produisent de la vapeur d'eau Il faut également encourager l'utilisation des panneaux solaires photovoltaïques pour la production d'énergie électrique.

Chapitre II : Capteur solaire Plan

II.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 **[10].**

•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 **[11].**

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 **[1], [12].**

II.2. Les types des capteurs solaire thermique

II.2.1. Les capteurs à concentration

C'est un capteur solaire comportant un système optique (réflecteurs) destiné à concentrer sur l'absorbeur (circuit échangeur) le rayonnement solaire.

Ce type de capteur focalise le rayonnement solaire reçu sur l'absorbeur de manière à accroitre l'intensité des rayons solaires et d'obtenir des températures élevées, entre 400 °C et 1000 °C. La chaleur solaire produit de la vapeur qui alimente généralement une turbine.

Trois technologies sont utilisées dans les centrales solaires à concentration.

II.2.1.1 Concentrateurs paraboliques

Les rayons du soleil convergent vers un seul point, le foyer d'une parabole, (figure II.1). Le système doit être orienté à tout instant vers le soleil, ce qui implique une motorisation précise selon deux axes. Le facteur de concentration moyen dépasse le millier, ce qui permet de porter le fluide à très haute température, au-delà de 700 °C.

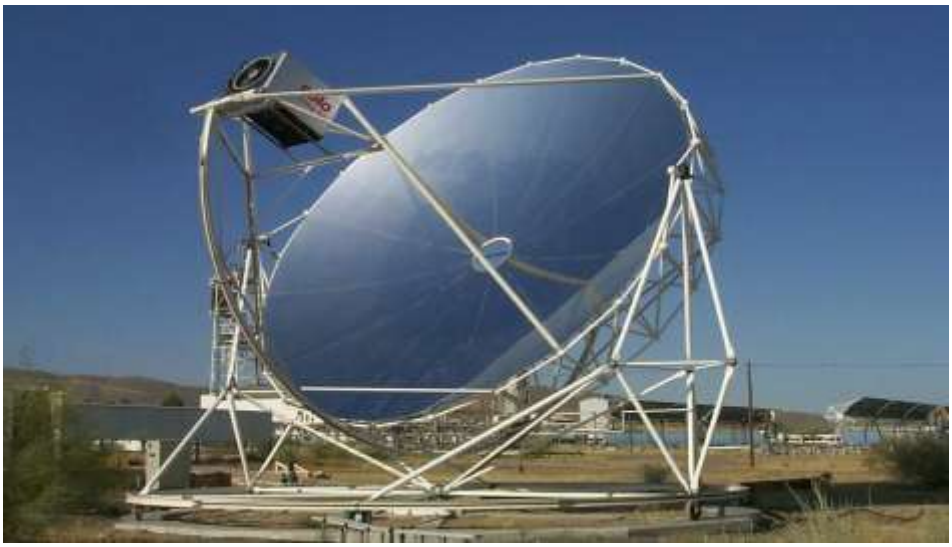


Figure (II-1) : parabolique**.[17]**

II.2.1.2. Centrales à tour

Des milliers de miroirs (héliostats) suivent la course du soleil et concentrent son rayonnement sur un récepteur central placé au sommet d'une tour, (figure II-2). Cette filière permet de déployer des surfaces de miroirs très importantes. Des centaines ou milliers d'héliostats (miroirs plans de plusieurs dizaines de mètres carrés chacun), suivent le soleil et concentrent le rayonnement sur un récepteur central placé en haut d'une tour. Le soleil est concentré plus de 500 fois et la température obtenue dépasse les 600 °C. Différents fluides caloporteurs peuvent être utilisés (vapeur, sels fondus, air).



Figure (II-2) centrale a tour. **.[17]**

II.2.1.3. Concentrateurs cylindro-parabolique :

Des miroirs de section parabolique concentrent les rayons du soleil vers une ligne focale, (figure II-3). Le récepteur est un tube placé sur ce foyer linéaire dans lequel circule un fluide caloporteur. L'avantage de ces miroirs paraboliques est que le suivi du soleil est simplifié. En effet, il s'effectue sur un seul axe au lieu de deux pour les héliostats. Ces concentrateurs sont généralement orientés nord-sud et pivotent d'est en ouest pour suivre la course du soleil. La concentration est modeste, de 20 à 80 fois le rayonnement, et les températures obtenues sont de l'ordre de 400 °C.

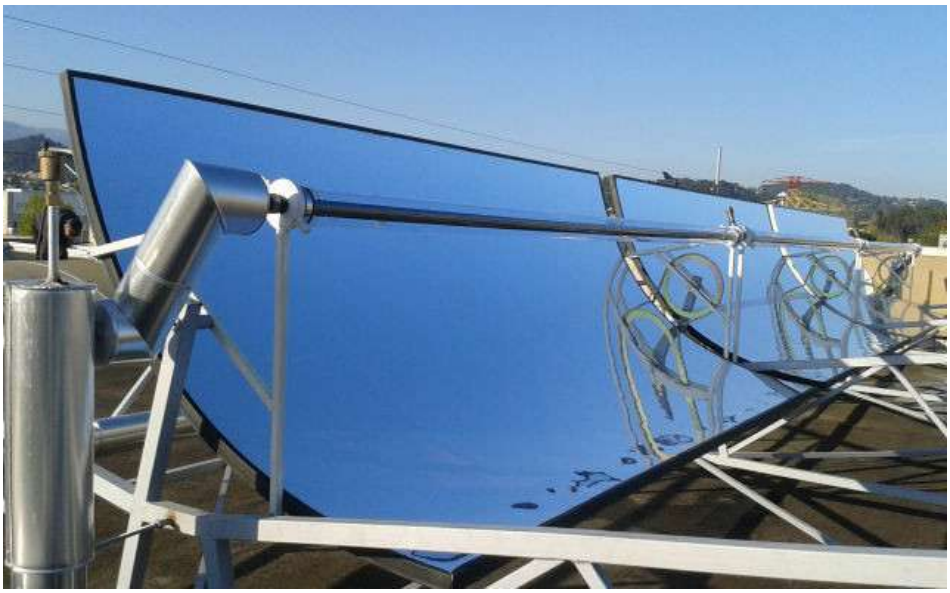


Figure (II-3) : cylindro_parabolique. **.[17]**

II.2.2 Les capteurs solaires sans concentration (fixe):

II.2.2.1. Le capteur plan sans vitrage :

El est beaucoup plus économique mais moins répandu. Très dépendant de la température extérieure, il est généralement utilisé dans les installations de chauffage de piscine mais peut parfois faire office de système de chauffage de l'eau sanitaire dans les pays chaud. Dans les zones tempérées, la température de fonctionnement est généralement inférieure à 30°C **[13].** Il est seulement constitué d'un absorbeur dans lequel circule le fluide caloporteur (figure II-4).



Figure (II-4) : capteur solaire plan sans vitrage. **.[17]**

II.2.2.2 Le capteur plan avec vitrage

Il est généralement utilisé dans les installations de chauffage de l'eau sanitaire ou des locaux.

La température de fonctionnement est généralement comprise entre 30°C et 60°C. Il est constitué d'une caisse isolée couverte par un vitrage. A l'intérieur on retrouve l'absorbeur dans lequel circule le fluide caloporteur. Le vitrage bloque le rayonnement infrarouge et isole la lame d'air au-dessus de l'absorbeur pour garder la chaleur (Figure II-5).

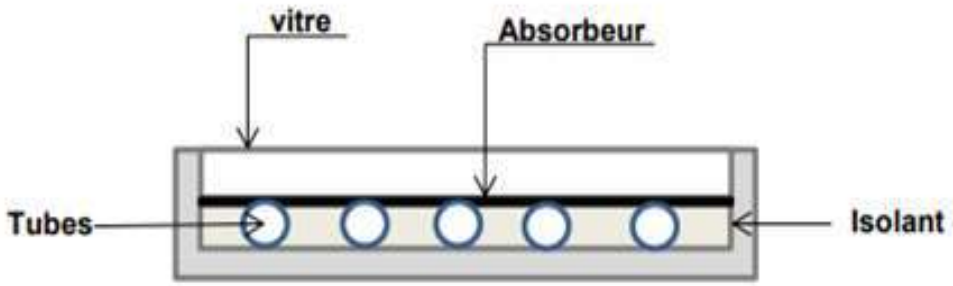


Figure (II-5) : Capteur solaire plan avec vitrage

II.2.2.3 Le capteur plan double vitrage :

Pourquoi utilisons-nous un double vitrage ?

Nous utilisons double vitres pour améliorer encore les propriétés des capteurs dans la Mesure où constructeurs utilisent parfois deux vitres (figure II-6.).

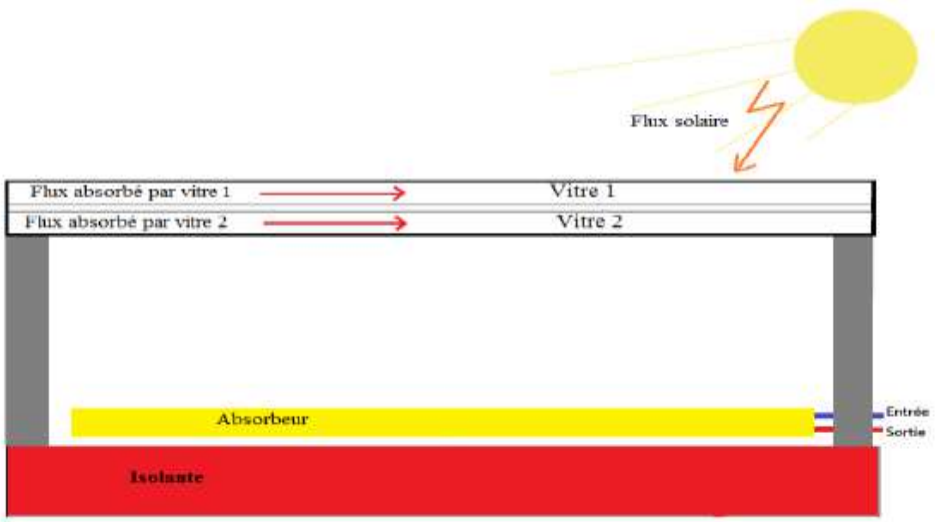


Figure (II-6) : capteur solaire plan avec double vitrage.

II.3. Principe de fonction de capteur solaire

Les capteurs solaires thermiques constituent le cœur des installations destinées à transformer l'énergie transmise par le soleil en chaleur. Le rayonnement solaire est absorbé par une surface noire (plaque absorbante) , parcourue par un fluide caloporteur qui extrait l'énergie thermique et la transfère vers son lieu d'utilisation ou de stockage. Une isolation thermique est disposée à l'arrière et sur la périphérie du capteur pour limiter les déperditions par conduction. Différentes configurations conduisent à des types de capteurs distincts, dont les performances varient en fonction des domaines d'utilisation

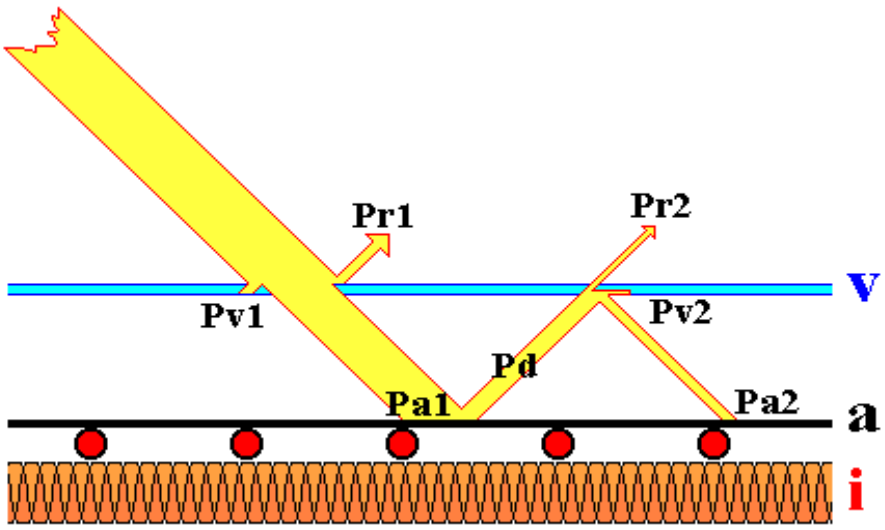


Figure (II-7): fonctionnement d'un capteur solaire

Le rayonnement solaire, symbolisé par les flèches jaune, ne traverse pas entièrement couche transparente du capteur car une petite partie est réfléchie par la vitre, surtout si l'angle d'incidence est fort.

Malgré l'excellente transparence du verre, une petite partie (Pv1) de l'énergie reçue sera absorbée par le verre.

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

Une partie (Pr2) de Pd va traverser la vitre et sera perdue définitivement, une autre partie (Pv2) sera absorbée par la vitre et le reste retournera vers l'absorbeur (Pa2).

On négligera les pertes au travers de l'isolant i.

II.4.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 II.8).

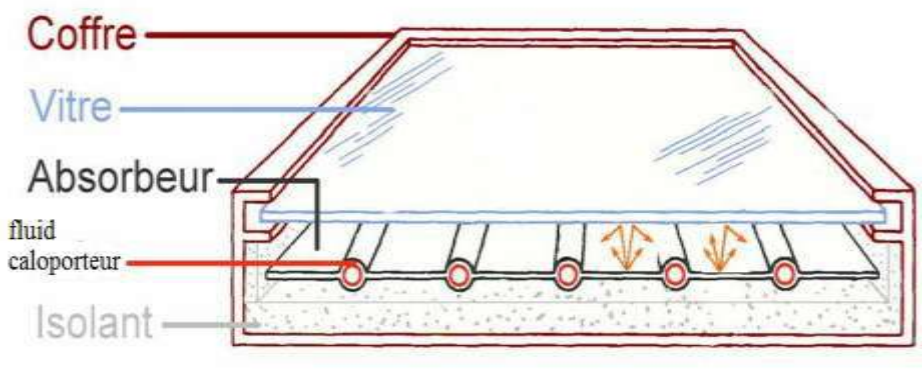


Figure (II-8) : Composants d'un capteur solaire plan**.**

II.4.1. L'absorbeur

C'est la transformation du rayonnement solaire en chaleur, il transport cette chaleur au fluide caloporteur, il est constitué d'une plaque métallique (cuivre, acier, aluminium …ext) revêtue d'une peinture noire matte.

Ses principales qualités sont:

- Un facteur d'absorption aussi voisin que possible de l'unité.
- Un pouvoir émissif dans l'infrarouge aussi faible que possible.
- Une bonne conductivité thermique.
- Une faible inertie thermique.

II.4.2. Le fluide caloporteur

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

- Etre chimiquement stable lorsqu'il atteint une forte température, en particulier lors de la stagnation du capteur.
- Posséder des propriétés antigel en corrélation avec les conditions météorologiques locales.
- Posséder des propriétés anticorrosives selon la nature des matériaux présents dans le circuit capteur.
- Posséder une chaleur spécifique et une conductivité thermique élevées afin de transporter efficacement la chaleur.
- Etre non-toxique et avoir un faible impact sur l'environnement.
- Avoir une basse viscosité afin de faciliter la tâche de la pompe de circulation.
- Etre facilement disponible et bon marché.

II.4.3. Le vitrage

Le vitrage permet de protéger l'intérieur du capteur contre les effets de l'environnement et d'améliorer le rendement du système par effet de serre.

Si l'on souhaite un vitrage efficace, il doit posséder les propriétés suivantes:

- Réfléchir le rayonnement lumineux au minimum quelle que soit son inclinaison.
- Absorber le rayonnement lumineux au minimum.
- Avoir une bonne isolation thermique en gardant le rayonnement infrarouge au maximum.
- Résister dans le temps aux effets de l'environnement (pluie, grêle, rayonnement solaire,...) et aux grandes variations de température.

Les principaux vitrages utilisés pour les capteurs thermiques sont à base de verre non ferrugineux ou en verre acrylique, et souvent dotés d'un revêtement antireflet.

II.4.4. L'isolation thermique

L'isolant thermique permet de limiter les déperditions thermiques, sa caractéristique est le coefficient de conductivité; plus il est faible meilleur est l'isolant. Les principaux matériaux utilisés pour les capteurs thermiques sont la laine de roche et de verre, des mousses de polyuréthane ou encore de la résine de mélamine, on retrouve parfois des isolants plus naturels

II.4.5. 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

II.5.Les modes de transfert de chaleur :

Les trois modes de transfert de chaleur sont

a) Conduction:

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, 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 et une transmission par les électrons libres.

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température

$$Q = -\lambda grad\left(T\right)$$

Ou sous forme algébrique:

$$Q = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial x}$$

Avec : Q Flux de chaleur transmis par conduction (W);

λ : Conductivité thermique du milieu (W m-1 °C-1);

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

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur (m²);

b) Convection:

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide.

Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton :

Loi de Newton:

Cette loi exprime l'échange de chaleur qui existe entre une plaque chaude (à la température T2) et un fluide (à la température T1).

$$Q = hs\left(T1 - T2\right)\left[W\right]$$

S: surface d'échange (m²).

$T1$: Température de la plaque.

$T2$: Température du fluide.

La convection est dite forcée si le fluide est mis en mouvement par une action extérieure (pompe, ventilateur, vent…). La convection est dite naturelle si le mouvement du fluide ne résulte que des différences de masse volumique induite par des différences de températures.
La valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection h est fonction de la nature du fluide, de sa température, de sa vitesse et des caractéristiques géométriques de la surface de contact solide/fluide.

c) Le rayonnement:

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans le vide). Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation :

La loi de Stefan-Boltzmann (ou loi de Stefan) permet de quantifier ces échanges. La puissance rayonnée par un corps est donnée par la relation**[14]** :

$P = \varepsilon S \sigma T^{-4}$

Avec:

σ : Constante de Stefan-Boltzmann (5,6703. 10-8 W.m-2.K-4)

ε : Émissivité, coefficient sans unité qui vaut 1 pour un corps noir et qui est compris entre 0 et 1 selon l'état de surface du matériau.

S : Superficies du corps ;

T : Température du corps (en kelvin).

II.6.Conclusion

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

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

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

Chapitre III: Modèle mathématique

III. Modèle mathématique

S **:** L'énergie solaire absorbée par la surface d'absorbeur $\left[\mathrm{W/\,m^2}\right]$

$$S = I_b R_b (\tau\alpha)_b + I_d (\tau\alpha)_d \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho_g I (\tau\alpha)_g \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \qquad (1)\ \textbf{[15]}$$

(1 + cos β) / 2 et (1 - cos β) /2 : sont les facteurs de vue du capteur au ciel et du capteur au sol, respectivement.

Q_u : Flux de chaleur $[W]$

$$Q_u = A_C \left[S - U_L (T_{pm} - T_a)\right] \qquad (2)\ \textbf{[15]}$$

U_t **:** La somme des transferts de chaleur vers le haut $\left[\mathrm{W/m2\ K}\right]$

$$U_t = \left(\frac{N}{\frac{C}{T_{pm}}\left[\frac{(T_{pm}-T_a)}{(N+f)}\right]^e} + \frac{1}{h_w} \right)^{-1} + \frac{\delta\left(T_{pm}+_{Ta}\right)\left(T_{pm}^2+T_a^2\right)}{\frac{1}{\delta_p + 0.00591 N h_w} + \frac{2N+f-1+0.133\varepsilon_p}{\varepsilon_g} - N} \qquad (3)\ \textbf{[15]}$$

Avec N= nombre de couverture de verre

$$h = 5.7 + 3.8V \qquad (4)\ \textbf{[15]}$$

h : Coefficient de convection entre le verre supérieure et l'ambiante

V : vitesse de vent m/s

$h_w = \left(W/m^2 C^\circ\right)$

Coefficient des pertes de fond et les cotes $\left[\mathrm{W/m2\ K}\right]$

$$U_b = \frac{K}{Ep} \qquad (5)\ \textbf{[15]}$$

K : Conductivité thermique $[W/m.K]$

Ep : Épissure de l'isolent $[m]$

U_e : Perte de bord $\left[\mathrm{W/m2\ K}\right]$

$$Ue = \frac{(UA)_{edge}}{Ac} \quad (6)\ \textbf{[15]}$$

U_L **:** Les pertes thermiques globales $[\mathrm{W/m2\ K}]$

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad (7)\ \textbf{[15]}$$

m : Débit massique $[kg/\mathrm{s}]$

$$\dot{m} = \sqrt{\frac{U_L}{K_\delta}} \quad (8)\ \textbf{[15]}$$

C_b : Conductance de liaison

$$C_b = \frac{k_b b}{\gamma} \quad (9)\ \textbf{[15]}$$

F_R **:** Le facteur d'évacuation de la chaleur de capteur

$$F_R = \frac{mC_p\left(T_{fo} - T_{fi}\right)}{A_c\left[S - U_L\left(T_{fi} - T_a\right)\right]} \quad (10)\ \textbf{[15]}$$

$$\frac{T_{fs} - T_a - S/U_L}{T_{fe} - T_a - S/U_L} = \exp\left(-\frac{U_L A_c F'}{mC_p}\right)$$

F' : Le facteur d'efficacité du collecteur

$$F' = \frac{1/U_L}{W\left[\frac{1}{U_L\left[D + (W-D)F\right]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{fi}}\right]} \quad (11)\ \textbf{[15]}$$

$$\Rightarrow T_{fs} = \exp\left(-\frac{U_L A_c F'}{mC_p}\right)\left(T_{fe} - T_a - S/\mathrm{U_L}\right) + T_a + S/U_L \quad (12)\ \textbf{[15]}$$

F'' : Débit de facteur de capteur

$$F'' = \frac{F_R}{F'} = \frac{mC_p}{A_c U_L F'}\left[1 - \exp\left(-\frac{A_c U_L F'}{\dot{m} C_p}\right)\right] \quad (13)\ \textbf{[15]}$$

Q_u **:** Flux de chaleur utile $[W]$

$$Q_u = A_c F_R\left[S - U_L\left(T_i - T_a\right)\right] \quad (14)\ \textbf{[15]}$$

F_R: Le facteur d'évacuation de la chaleur de capteur

T_{fm} : Température de fluide moyenne $[C°]$

$$T_{fm} = \frac{1}{L}\int_0^L T_f\,(y)dy \qquad (15)\ \textbf{[15]}$$

T_f : Température de fluide $[C°]$

$$T_{fm} = T_{fi} + \frac{Q_u / A_c}{F_R U_L}(1 - F'') \qquad (16)\ \textbf{[15]}$$

T_{pm} **:** Température de la plaque absorbeur moyenne $[C°]$

$$T_{pm} = T_{fi} + \frac{Q_u / A_C}{F_R U_L}(1 - F_R) \qquad (17)\ \textbf{[15]}$$

.

Chapitre IV:Résultats et Discussion

IV. Introduction

L’objectif de cette étude est d’améliorer l’efficacité du capteur á double vitrage, en jouant sur plusieurs paramètre qui est représenté dans la distance entre les tube et la surface de capteur et le débit massique de fluide caloporteur et le diamètre de tube et l'épaisseur de l'isolent ， Pour étudier les variations de certains paramètres de fonctionnement on a choisis le 10 juin 2019 comme jour de calcul.

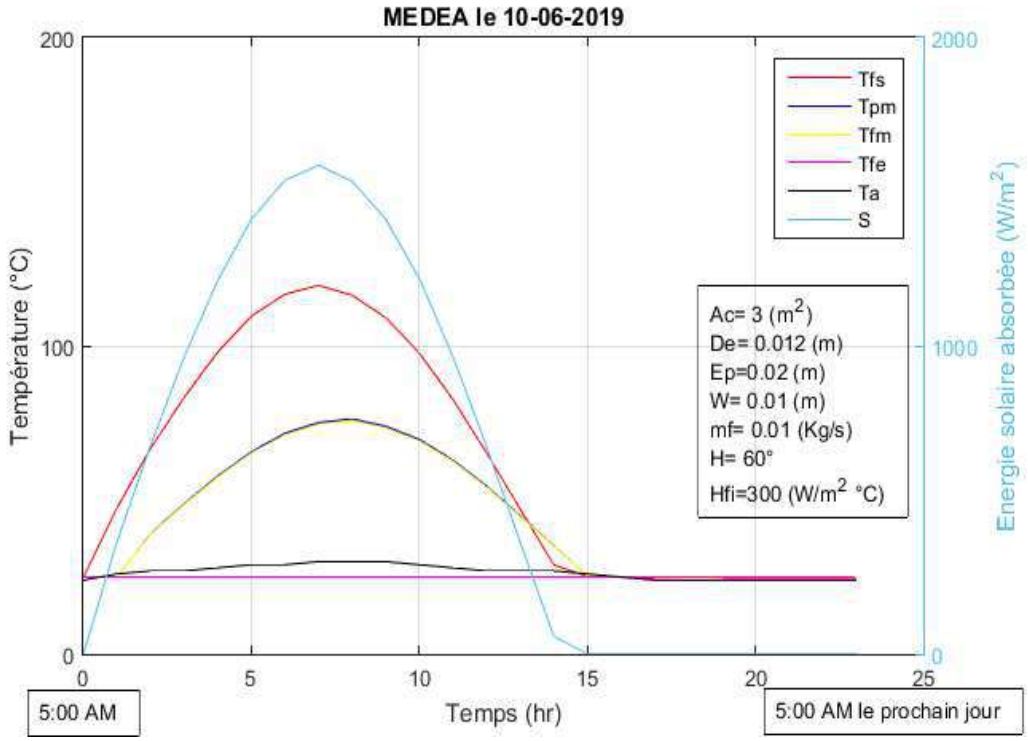


Figure (III-1) : Les variations horaires du rayonnement solaire et de la température ambiante en fonction du temps.

Figure (III-1) : La performance thermiques du capteur solaire fonctionnant en cycle ouvert pour l'extraction de chaleur ont été théoriquement étudie : La figure 1 représente la variation horaire de l'énergie absorbée et de la température ambiante, la température du fluide caloporteur à l'entrée et à la sortie de serpentin, et la température moyenne de la plaque absorbante et température moyenne de fluide caloporteur.

Nous concluons que l'augmentation de l'absorption de l'énergie solaire est le principal facteur permettant d'augmente les autre températures comme la température de fluide caloporteur de sortie et la température moyenne de fluide caloporteur et la température d'absorbation moyenne, ce qui accroît les échanges thermiques**.**

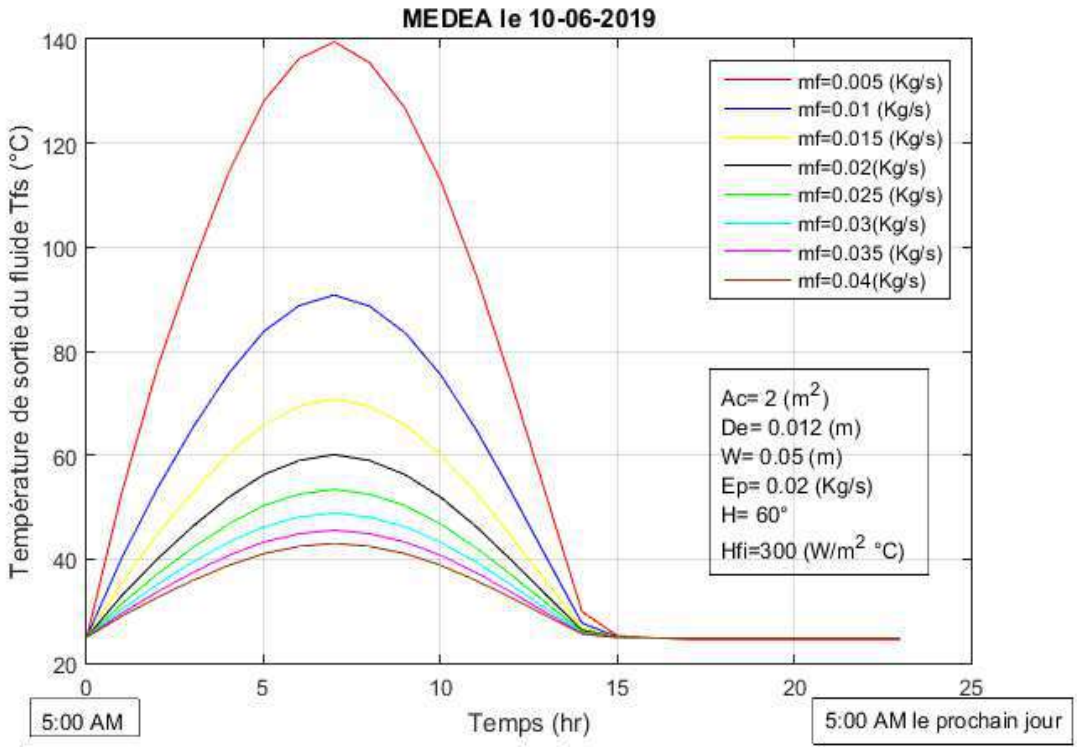


Figure (III-2) : Evolution de la température du fluide caloporteur en fonction de temps pour différentes valeurs de débit massique

Figure (III-2) : représente les variations horaires de la température de fluide caloporteur à la sortie de tube. La valeur a atteint 139,5052°C, 90,8169°C, 70,8487°C, 60,1134°C 53,4280°C, 48,8687°C, 45,5620°C, 43,0545°C pour différentes valeurs de débit massique de fluide caloporteur 0.005 [Kg/s] ,0.01 [Kg/s],0.015[Kg/s], 0.02 [Kg/s] .025 [Kg/s] ,0.03 [Kg/s] ,0.035 [Kg/s], 0.04

Pour obtenir la valeur maximum de la température de fluide caloporteur de sortie nous avons réduit le débit massique de fluide caloporteur qu'il nous a donné la valeur optimal 0.01 [Kg/s] qui nous a donné 45,5620°C, Qui a eu son effet dans écoulement lent dans les tubes qui prend le temps pour bien chauffé.

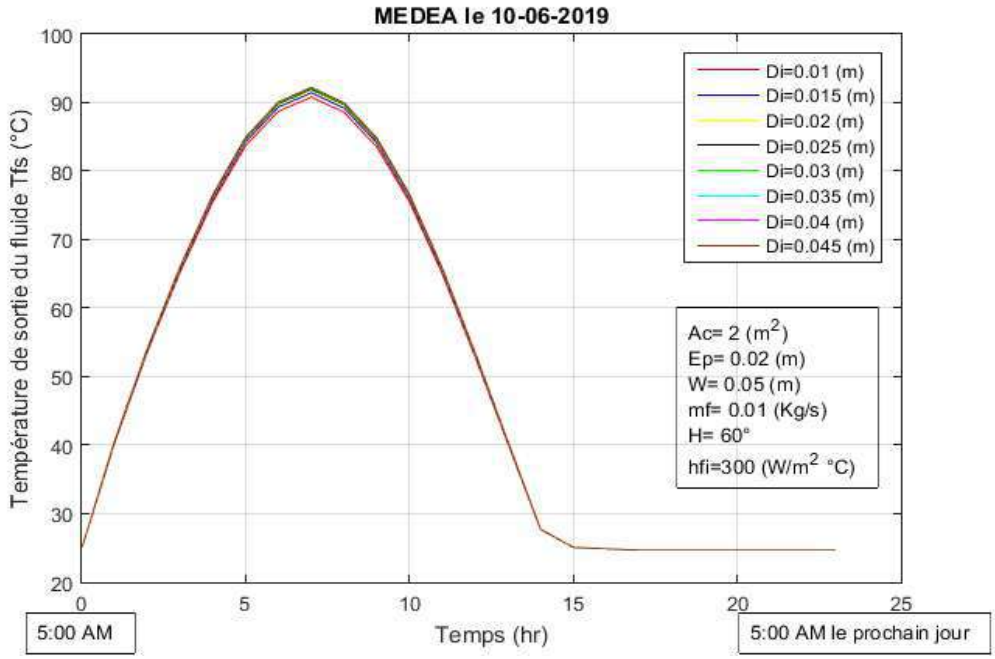


Figure (III-3) : Evolution de la température du fluide caloporteur en fonction de temps pour différentes valeurs de diamètre.

Figure (III-3) : Montre la variation temporale de la température de fluide caloporteurà la sortie de tube. La valeur de la température du fluide caloporteur atteint son maximum aux points ; 90,8169°C, 91,4571°C, 91,7855°C, 91,9840 °C 92,1140°C, 92,2014°C, 92,2545°C, 92,2866 °C pour différentes valeurs de diamètre de tube du serpentin de fluide caloporteur 0.01 [m],0.015 [m] ,0.02 [m], 0.025 [m] 0.03 [m],0.035 [m] ,0.04 [m], 0.045 [m] respectivement . L'augmentation du diamètre du tube permet l'augmentation de la surface d'échange, ce qui a un effet positif sur le processus d'échange de chaleur, mais cette augmentation est faible. Où la valeur idéale est 0.01 [m] .

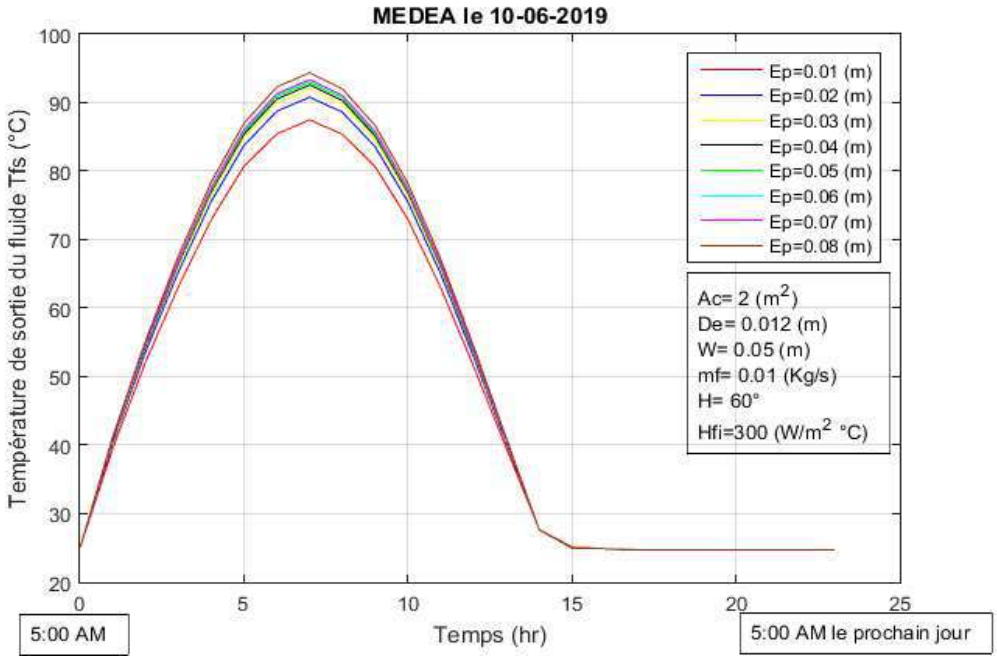


Figure (III-4) : Evolution de la température du fluide caloporteur en fonction de temps pour différentes valeurs épissure de l'isolent

Figure (III-4) : représente les variations horaires de la température de fluide caloporteurà la sortie de tube. La valeur de la température du fluide caloporteur atteint son maximum aux points87,4854°C, 90,8169°C, 91,9967°C, 92,6003°C 92,9670°C, 93,2134°C, 93,3903°C, 94,3731°C pour différentes valeurs de l'épaisseur de isolent 0.01 [m] ,0.02 [m] ,0.03 [m], 0.04[m]0.05 [m] ,0.06 [m] ,0.07 [m], 0.08[m] respectivement.

Lors de l'augmentation de l'épaisseur de l'isolent la température de fluide de sortie augmente légèrement jusque une valeur maximale pour 0.08 m = 94.3731c° Ceci est dû au minimiser des pertes thermique

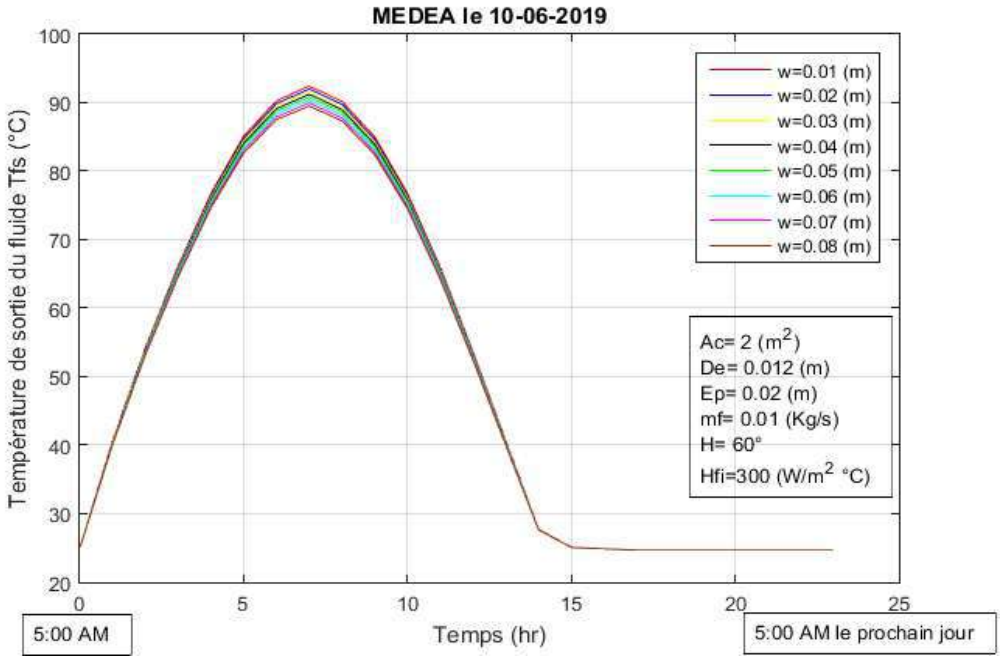


Figure (III-5) : Evolution de la température du fluide caloporteur en fonction de temps pour différentes valeurs de distance entre les tubes

Figure (III-5) : Représente les variations horaires de la température de fluide caloporteur à la sortie de tube. La valeur a atteint 36.1139°C, 34.9625°C, 34.2249°C, 33.6141°C pour différentes valeurs 0.01 [m] ,0.02 [m] ,0.03 [m], 0.04 [m] 0.05 [m] ,0.06 [m] ,0.07 [m], 0.08 [m] respectivement.

Parmi les critères qui ont un effet positif sur l'efficacité du capteur solaire, il y a la distance entre les tubes de l'échangeur de chaleur, car la réduction de cette distance permet d'augmentation du nombre de conduites, c'est-à-dire l'augmentation de la longueur de l'échangeur de chaleur, ce qui affecte positivement sue la surface d'échange thermique, la valeur optimale de cette étude était de 0.01 [m] .

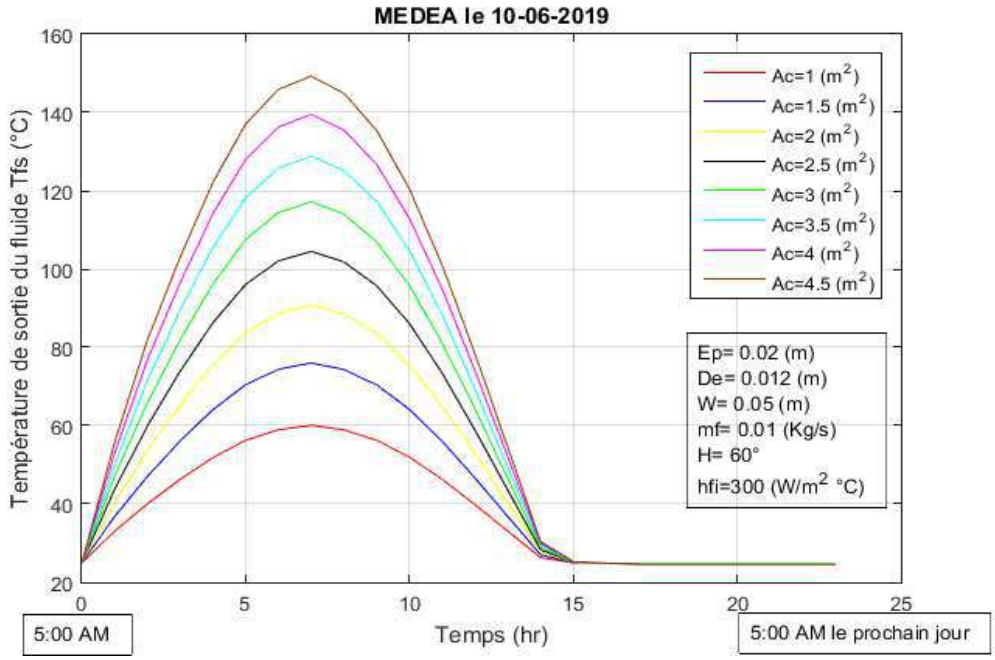


Figure (III-6) : Evolution de la température du fluide caloporteur en fonction de temps pour différentes valeurs de la surface de panneau

Figure (III-6) : Montre la variation temporale de la température de fluide caloporteur la sortie de tube. La valeur de la température du fluide caloporteur atteint son maximum aux points ; 60,1128°C, 76,0266°C, 90,8169°C, 104,5172 °C 117,1681°C, 128,8153°C, 139,5089°C, 149,2885 °C pour différentes valeurs de diamètre de tube du serpentin de fluide caloporteur 1 [m2],1.5 [m2] ,2 [m2], 2.5 [m2] 3 [m2],3.5 [m2] ,4 [m2],4.5 [m2].

La surface du capteur solaire joue un rôle important dans ses performances et son efficacité son impact accru a un impact direct sur la surface d'absorption et la surface d'échange de chaleur. La valeur que nous avons prise dans cette étude et la capacité 3 [m2] ont donné une excellente température de sortie de fluide caloporteur est 117,1681°C.

III. Conclusion

Les résultats obtenus nous ont permis de tirer les conclusions suivantes : Généralement la température de fluide de sortie sa trouve au maximum à midi, dans tous les graphes

Lors de l'augmentation de l'épaisseur de l'isolent et le diamètre du tube et minimisé la distance entre les tubes la température de fluide de sortie augmente légèrement

Pour avoir une température de fluide de sortie maximale de notre capteur solaire la surface de capteur doit être vaste et le débit massique de fluide caloporteur est lent.

Conclusion Générale

L'investigation des performances d'un capteur solaire plan opérant dans la zone de Médéa a été étudié à travers de la température de fluide caloporteur à la sortie du serpentin. Les résultats obtenus dans le mode cycle ouvert d'extraction de chaleur peuvent être mentionnés que :

Nous constatons que la température d'entré de tous les graphes sont a 25° a 5h :00 et la température commence a grimper jusqu'à atteindre le maximum a midi puis a redescendre jusqu'à atteindre la température initiale a 20h00 Pour ce stabilisé jusqu'à 5h00 du matin le prochain jour.

Et ce phénomène est en relation avec le graphe de l'énergie solaire absorbé le quel est affecté par le rayonnement solaire.

Plus le diamètre est grand plus la température augmente et ce par ce que la surface d'échange est plus importante.

Aussi, si la distance entre les tubes est petite, ces derniers sont en nombre plus grand et la surface d'échange est plus grande encore.

Quand aux pertes de la chaleur, elles sont en fonction de l'épaisseur de l'isolent .donc la température est plus grande si l'isolent est plus épais.

Le capteur est grand, il à beaucoup de tube ce la permit une meilleur absorbation de rayonnement pour un meilleur échauffement de l'eau si, en diminue le débit, le temps est plus grand pour un réchauffement a grande température de fluide sortie.

SOMMAIRE

ملخص …….……..... I
Remerciements……...II
Dédicaces…….. III
Liste des figures…….….IV
Tableau des symboles ……....VI
Introduction générale…….....1

I.1.Introduction..... 3
I.2. Les énergies renouvelables 3
I.2.1. L'éolien (le vent)..... 3
I.2.2. La biomasse 4
I.2.3. La géothermie 4
I.2.4. L'hydraulique..... 5
I.2.5. l'énergie solaire..... 6
I.2.6. L'énergie solaire thermique..... 7
I.2.7. Rayonnement solaire..... 7
I.2.7.1 Rayonnement solaire diffus 7
I.2.7.2 Rayonnement solaire incident..... 7
I.2.7.3 Rayonnement solaire réfléchi..... 8
I.2.7.4 Rayonnement solaire absorbé 8
I.16. Applications à basses et hautes températures 19
I.16 .1 Applications à basses températures..... 19
I.16 .2 Applications à hautes températures..... 20
II.1. Introduction 22
II.2. Les types des capteurs solaire thermique 22
II.2.1. Les capteurs à concentration..... 22
II.2.1.1 Concentrateurs paraboliques..... 22
II.2.1.2. Centrales à tour..... 23
II.2.1.3. Concentrateurs cylindro-parabolique : 24
II.2.2 Les capteurs solaires sans concentration (fixe): 24
II.2.2.1. Le capteur plan sans vitrage : 24

II.2.2.2 Le capteur plan avec vitrage 25
II.2.2.3 Le capteur plan double vitrage : 25
II.3. Principe de fonction de capteur solaire 26
II.4.Les différents composants d'un capteur solaire à eau 27
II.4.1. L'absorbeur 27
II.4.2. Le fluide caloporteur 28
II.4.3. Le vitrage 28
II.4.4. L'isolation thermique 28
II.4.5. Le coffre 29
II.5.Les modes de transfert de chaleur : 29
II.6 Conclusion……30
III.1 Modèle mathématique 32
III.2 Introduction 37
III.3 Conclusion 43
Conclusion Générale……44
Biblioghraphique……....45