



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



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie mécanique

Spécialité : énergétiques et énergies renouvelables

Thème

Etude expérimentale d'un panneau solaire plan à
eau par l'utilisation de sable teinté comme
plaque absorbante

Devant le jury composé de :

..... Président
..... Examineur
..... Examineur
Zine Ali. Encadreur

Présenté par :

-Bahri Tarek Aziz
- Ben Amor Abdeldjabar

Anneé:2016-2017

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tout premièrement Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

*Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur **Ms. ZINE Ali** pour avoir d'abord proposée ce thème, pour suivi continuel tout le long de la réalisation de ce mémoire et qui n'a pas cessée de nous donner ses conseils.*

Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui nous ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.

*Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants et le chef de filière de g.e **Ms. MENAGER Ridha** qui a contribué à notre formation par ailleurs, Nos remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.*

En fin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour le soutien moral et matériel

BEN AMOR Abdeldjabar

BAHRI Tarek Aziz

Sommaire

Liste de Figure.....	V
Liste de tableau.....	VI
Nomenclature	VII
INTRODUCTION Générale	1
I- Recherche bibliographi et généralité sur le système solaire.....	3
I-1. Description du soleil	5
I.2. Mouvement de la terre autour du soleil.....	7
I.3.Grandeurs géographiques et astronomiques.....	8
I.3.1Grandeurs pour le repérage du soleil.....	8
I.3.2Grandeurs pour le repérage d'unsite à la surface terrestre	11
I.3.3Orientation d'un plan.....	11
I.3.4Angle d'incidence sur un plan.....	11
I.4.Le rayonnement solaire	11
1. Introduction	14
II. Bilan énergétique du capteur.....	14
II.1. Hypothèses	15
II.2. Rendement du capteur.....	16
II.3. Evaluation des déperditions thermiques du capteur	16
II.4. Distribution de la température du fluide caloporteur	21
II.5. Facteur de conductance de la sable absorbante	22
II.6. Calcul des températures moyennes des éléments du capteur	23
Introduction	25
III.1Dispositif expérimental	25
III.1.1Description du banc d'essai.....	25
III.1.2.Les instruments de mesures utilisés.....	26

III.1.3 Mesure des différentes températures	28
III.2 Présentation de l'interface	29
III.2.1 Fenêtre de calcul du rayonnement solaire	29
III-3 Résultatset discussion	30
III-3-1 Premier cas: Capteur solaire plan incliné à 33° et orienté plein Sud.	30
III3.1.1. Evolution de l'éclairement	30
III.3.2 Evolutions des températures d'entrée et de sortie du fluide caloporteur	31
III.3.2.1. Rendement instantané	32
III.4 Deuxième cas : Capteur solaire plan à inclinaisons et orientations variables.....	33
III.4.2. Variations des températures d'entrée et de sortie du fluide caloporteur.....	35
CONCLUSION Générale	38
Référence.....	39

Liste de Figure

Figure I.1: Structure du soleil.....	8
FigureI.2 Mouvement de la terre autour du soleil.....	9
FigureI.3 Repère de coordonnées horaires.....	10
FigureI.4 Repère de coordonnées azimutales	11
Figure I.5 Repérage d'un site sur la surface terrestre	12
Figure (II-1) : Circuit électrique équivalent relatif à un capteur solaire plan	17
Figure (II.2) : bilan thermique élémentaire du fluide	21
FigureIII.1 Représentation du capteur solaire plan	26
FigureIII.2: thermocouple.....	27
Figure III-3 :Thermocouple de type K	28
Figure III-4 :Méthode artisanale de mesure de débit	30
FigureIII.5: Fenêtre de calcul du rayonnement solaire.....	30
FigureIII. 6: L'allure du rayonnement	31
Figure(III.7) Variation temporelle du rendement instantané.....	33
Figure III.9. Evolution de l'éclairement solaire en fonction du temps.....	34

Liste de tableau

Tableau I.4 : Caractéristiques principales du soleil.....	7
TableauIII.1 Caractéristiques du capteur.....	27
TableauIII.2: Caractéristiques techniques	28
TableauIII.2: mesure Jeudi 02 Mars 2017.....	32
TableauIII.3.: mesure Jeudi 09 Mars 2017.....	35

Nomenclature

Symbole	Désignation	Unité
Cp_i	Chaleur spécifique d'un corps d'indice i	J/kg.K
e_i	Epaisseur d'un corps d'indice i	m
A_i	Surface d'un corps d'indice i	m ²
g	Accélération de la pesanteur	m/s ²
$h_{c,i-j}$	Coefficient d'échange thermique par convection entre deux systèmes d'indice i et j	W/m ² .K
$h_{r,i-j}$	Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre deux systèmes d'indice i et j	W/m ² .K
$Q_{c,i-j}$	Flux de chaleur échangé par convection entre deux systèmes d'indice i et j	W
$Q_{r,i-j}$	Flux de chaleur échangé par rayonnement entre deux systèmes d'indice i et j	W
$Q_{cd,i-j}$	Flux de chaleur échangé par conduction entre deux systèmes d'indice i et j	W
Gt	Rayonnement solaire global	W/m ²
m_i	Masse d'un corps d'indice i	kg
P_i	Puissance solaire absorbée par un corps d'indice i	W
T_i	Température d'un corps d'indice i	°K

Indice	Désignation
a	Air
am	Ambiant
c	Couverture
f	Fluide caloporteur
fe	Fluide à l'entrée du capteur
fs	Fluide à la sortie du capteur
is	Isolant
p	Plaque absorbante
st	Stockage

Lettre grecque	Désignation	Unité
α	Facteur d'absorption	-
β	Inclinaison du capteur	°
ε_n	Emissivité d'un corps	-
η	Rendement instantané	-
λ $\lambda\tau$	Conductivité thermique	W/m ² .K
μ	Viscosité dynamique	Kg/m.s
ρ	Masse volumique	Kg/m ³
τ	Facteur de transmission	-
σ	Constante de Stefan Boltzmann	W/m ² .K ⁻⁴

INTRODUCTION Générale

La demande croissante d'énergie à cause de la forte augmentation de la pollution et le développement industriel en particulier en Algérie, il est impératif pour nous chercher des sources d'énergie nouvelles et renouvelable. Notamment l'énergie solaire, qui est une source importante et grande. Surtout dans notre zone saharienne EL-OUED cette énergie a plusieurs usages, comme la production d'électricité l'eau chaud, séchage.....mais il existe quelque inconvénients permis elles, l'absence du soleil dans la nuit, dans le cas de changement de climat, mais cela ne nous empêche pas de l'utiliser

Dans cette étude, nous voulons utiliser cette énergie pour chauffer l'eau, car le coût de chauffe d'eau prend la majorité de la facture électrique à domicile. et nous tenons également à exploiter les ressources locale qui permieux .le sable qu'il est une grande capacité de stockeur la chaleur à degrés très élevé .ou nous l'utilisons le sable tenté comme plaque absorbeur pour cela nous allons fait une étude expérimentale sur deux type de chauffe d'eau solaire l'une réaliser par une plaque galvanisé comme plaque absorbante, et l'autre par sable noire comme plaque absorbante.

Ensuite, nous comparons les résultats obtenus.

La question est actuellement posée : est-il possible. Le chauffage d'eau solaire à l'huile peut être comme une solution de recharge alternative à la chauffe d'eau à plaque métallique pour répondre à cette question, nous allons fait cette étude et nous allons suivre les étapes suivant .

(1 Introduction générale

(2 Chapitre un : recherche bibliographie et généralité sur le système solaire

(3 chapitre deux : étude théorique et bilan thermique d'un capteur solaire plan à chauffe d'eau

(4 Chapitre trois : Étude expérimentale et l'appareil de mesure

Partie I : l'appareil de mesure

Partie II : résultat et discussions

(5 Conclusion générale

Chapitre I

Recherche bibliographi

et généralité sur le système solaire

I- Recherche bibliographique et généralité sur le système solaire

Les chauffe-eau solaire sont les systèmes les plus simples pour le chauffage de l'eau sanitaire. Nous allons citer dans le présent chapitre les principaux travaux effectués sur leurs modélisations théoriques et leurs expérimentations.

Une est consacrée à l'analyse de de chaleur dans un système de stockage de chaleur dans un matériau transfert à changement de phase. Ce système peut être utilisé afin d'emmagasiner de la chaleur pour la restituer en vue de son utilisation ultérieure.

Le système étudié ne vise pas une application précise mais se limite à l'analyse des phénomènes de transfert thermique dans un MCP macro en capsulé composé d'un mélange de paraffine immergé dans une matrice en béton[1].

- Dans cet article on présente, une série de tests expérimentaux menés sur un capteur solaire plan, d'une surface de captation de 1.74 m², conçu au laboratoire et expérimenté dans la région de Biskra[2]

Le but de ce travail est de faire une étude bibliographique sur l'état du stockage thermique de l'énergie et en particulier de l'énergie solaire. L'énergie solaire, par sa nature possède des caractéristiques particulières : elle est intermittente (jour/nuit), aléatoire (orages et passages de nuages), diluée et décalée par rapport aux demandes énergétiques quotidiennes ou saisonnières. les systèmes solaires thermiques domestiques. Dans un premier temps sont présentés les systèmes de stockage de chaleur innovants basés sur la chaleur latente et l'énergie thermochimique. Ensuite, l'intérêt d'une régulation efficace de ces systèmes est décrit au travers d'un projet de développement.[3]

L'implantation d'un système solaire pour satisfaire à un besoin bien déterminé en un site donné ne doit se faire qu'après avoir estimé la productivité du système en fonction du gisement solaire local disponible réellement. La modélisation des paramètres intrinsèques et extrinsèques qui gouvernent le fonctionnement des insolateurs constitue le sujet essentiel de ce travail. Cette étude rentre dans le cadre de la caractérisation des sites pour d'éventuelles applications de l'énergie solaire.[4]

L'Objectif de ce travail est de trouvé un modèle mathématique capable en premier lieu à quantifier l'irradiation solaire en un lieu et un jour donné, ainsi qu'a décrire le comportement thermique du capteur PVT, pour arriver à déterminer ses performances électrique et thermique,

sur un site à Constantine(Algérie). Les résultats obtenues montrent que d'un point de vue énergétique ou énergie primaire, les installations intégrant des capteurs PVT sont très prometteuse et pourraient se montrer compétitives face à des installations solaires utilisant les capteurs photovoltaïque et thermique séparément installés.[5]

On montre qu'en régime quasi stationnaire les équations de bilan thermique des composants du capteur cascaded en une équation différentielle ordinaire de premier ordre, qui à elle seule régit le comportement thermique du capteur. La solution de cette équation différentielle est écrite sous la forme d'une expression explicite de la température locale du fluide caloporteur en fonction du flux solaire variable dans le temps.[6]

Le travail présenté concerne l'analyse du comportement d'un capteur solaire plan à air fonctionnant en régime dynamique. Un modèle basé sur une résolution des équations de bilans thermiques par une méthode nodale a été établi. Sa validation est réalisée à partir d'essais effectués en ensoleillement naturel et en ensoleillement artificiel. L'écart absolu entre les rendements théoriques et expérimentaux est inférieur à 3 %. La sensibilité du rendement à différents paramètres, accessibles ou non par l'expérience, a été étudiée ; en particulier il s'agit de la sélectivité de l'absorbeur, de l'importance des fuites d'air, et des conditions de fonctionnement du capteur.[7]

Dans le cadre de ce travail, nous avons entreprise une étude théorique et experimental d'un capteur solaire plan à eau dans le but de mettre en évidence l'influence de l'intensité de l'éclairage solaire et l'angle d'inclinaison du capteur sur la température du fluide caloporteur et sur le rendement de ce capteur. Après avoir passé en revue quelques données astronomiques nécessaires à toute étude de dispositifs solaires, une modélisation mathématique du capteur solaire plan a été développée, ce qui nous a permis d'avoir les différentes équations qui régissent le comportement thermique de ce dispositif en régime permanent, ainsi que l'expression de son rendement instantané.[8]

Dans le cadre de notre travail, on a entreprit une étude des performances d'un capteur solaire plan à eau en régime permanent (capteur Thermo cad).

On a commencé par une présentation détaillée des données astronomiques qui sont nécessaires pour toutes études des systèmes solaires. Après avoir donné un aspect general par des généralités sur les chauffe-eau-solaires on a dressé un état d'art sur les capteurs solaire plans sujet de notre étude.

Par la suite, notre intérêt est porté sur les différents échanges thermiques mis en jeu au sein de notre capteur afin de définir les équations régissant le comportement thermique de ce dernier en régime permanent selon le manuscrit de Duffie and Beckmann. Ainsi, sur le logiciel de calcul Matlab, on a d'abord commencé par une étude comparative des trois modèles du rayonnement solaire (Capderou, Perrin de Brichambaut et Bird and Hulstrom), un paramètre dont les performances de notre dispositif dépendent grandement. On a ensuite mis au point un modèle pour simuler le comportement thermique de notre capteur

et pour estimer ses performances. Un modèle qu'on a validé avec un travail expérimental mené au Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) de Bouzaréah (Alger).

Au final, nous avons exploités le modèle du capteur pour étudier l'influence des différents paramètres opérationnels sur le rendement instantané d'un capteur ; un outil commode pour une étude de conception des dispositifs solaires.[9]

I-1. Description du soleil

non renouvelables d'origine fossile, comme les hydrocarbures qui sont le résultat de la photosynthèse. Le soleil est à l'origine de toute source d'énergie sur terre. Ceci est vrai autant pour les énergies que pour les énergies renouvelables, comme l'énergie solaire, l'énergie géothermique, la biomasse... etc.[8]

Comparable à une immense boule de gaz très chaud, le soleil est une étoile naine de forme pseudo-sphérique qui se compose principalement de 80% d'hydrogène et de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments chimiques,

Bien que le soleil soit une étoile de taille moyenne, il représente à lui seul 99,9% de la masse du système solaire qui est dominé par les effets gravitationnels de l'importante masse du soleil.

Les principales caractéristiques du soleil sont illustrées dans le tableau ci-dessous

:

Tableau I.1 : Caractéristiques principales du soleil

Valeur	Caractéristique
$1,989.10^{30}\text{kg}$	Masse
1410 kg/m^3	Masse volumique moyenne
$13,92.10^5\text{km}$	Diamètre
$2,5.10^{17}\text{km}$	Distance du centre de la voie lactée
217km/s	Vitesse
5770k	Température superficielle
$3,83.10^{23}\text{kW}$	Puissance rayonnée

La structure du soleil est illustrée à la figure (I.1). On distingue trois régions particulières

1-L'intérieur du soleil : cette région est divisée en trois zones ; le noyau, la zone radiative et la zone convective. Elle représente 40% de la masse du soleil et elle s'étend sur une épaisseur de 25.10^4km . Sa température atteint plusieurs millions de degrés et la pression un milliard d'atmosphère.

2-La photosphère : C'est une couche opaque d'environ 300km d'épaisseur. Sa température est de l'ordre de quelques millions de degrés, décroissant très rapidement dans l'épaisseur de la couche jusqu'à une température dite de surface de l'ordre de 4500°C .

3-La chromosphère et la couronne solaire : C'est une région à faible densité où la matière est très diluée, elle représente l'atmosphère du soleil. Cette couche est caractérisée par un rayonnement émis très faible est très élevée (environ un million de degré

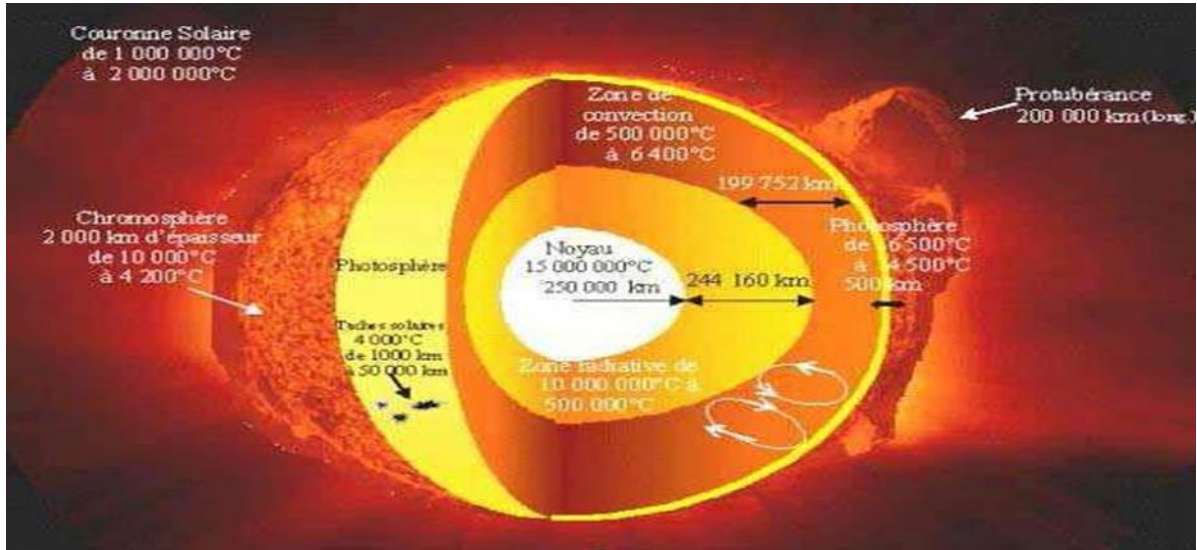


Figure I.1: Structure du soleil

I.2. Mouvement de la terre autour du soleil

La terre décrit une ellipse dans son mouvement autour du soleil. La révolution complète d'effectue en une période de 365,25 jours. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique. La terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Cette rotation s'effectue en une journée. L'axe des pôles et l'écliptique font entre eux un angle appelé déclinaison, il est égal à $23^{\circ}27'$.

C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est la plus proche du soleil : 147 millions de km. Au 21 juin la distance terre-soleil est de 152 millions de km, c'est le jour où la terre est la plus éloignée, c'est le solstice d'été. Le 21 mars et le 21 septembre sont appelés respectivement équinoxes de printemps et équinoxes d'automne. Aux équinoxes le jour et la nuit sont égaux.

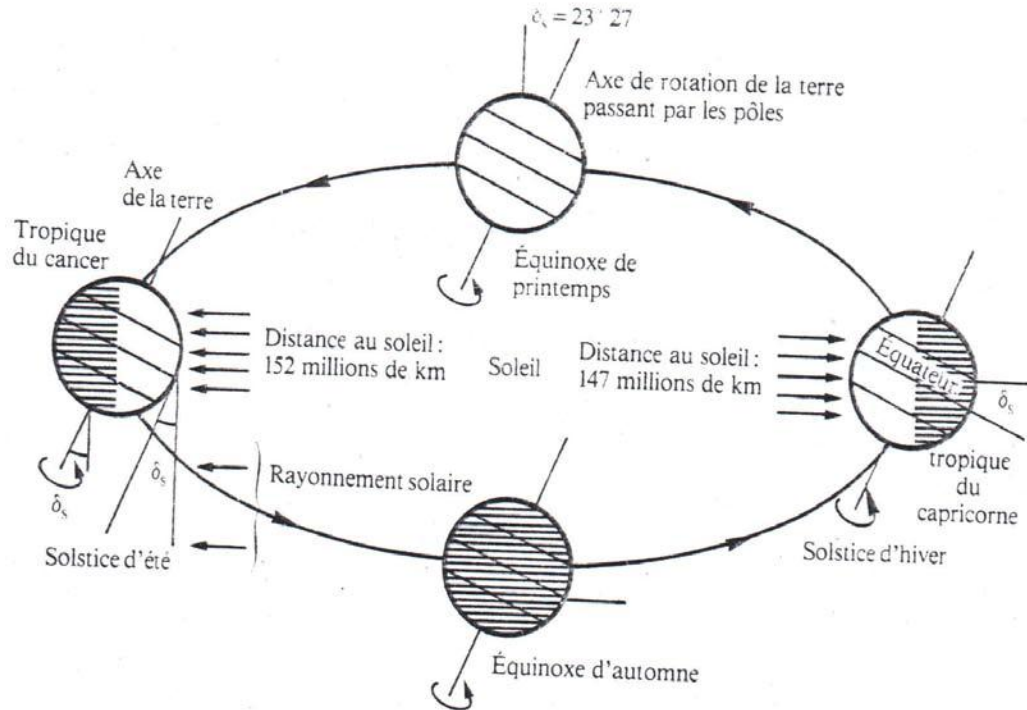


Figure I.2 Mouvement de la terre autour du soleil

I.3. Grandeurs géographiques et astronomiques

I.3.1 Grandeurs pour le repérage du soleil

La position du soleil dans le ciel n'est pas fixe, elle change à travers la saison. Ce changement de position est engendré par la rotation de la terre sur elle-même (autour de son axe), et de son mouvement autour du soleil (dans son orbite) [8].

Afin de déterminer cette position il est d'usage d'utiliser deux repères : le repère équatorial ou horaire et le repère horizontal ou azimutal.

I.3.1.1 Repère de coordonnées équatoriales

Dans ce repère la position du soleil dans le ciel est déterminée par deux grandeurs [8],

- **La déclinaison (δ):** C'est l'angle entre la direction soleil-terre et le plan de l'équateur terrestre. Elle est nulle aux équinoxes et maximale aux solstices, elle varie de $-23,27^\circ$ au solstice d'hiver à $+23,27^\circ$ au solstice d'été.

Elle peut être évaluée en première approximation par la relation suivante:

$$\delta = 23,27 \sin[360 / 3655(j + 284)] \quad (I.1)$$

δ est exprimée en degrés.

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

Angle horaire(ω): C'est l'angle compris entre le méridien origine passant par le sud et la projection du soleil sur le plan équatorial, il mesure la course du soleil dans le ciel. Il est donné par la relation suivante:

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

TSV : temps solaire vrai;

Il vaut 0° à midi solaire, ensuite chaque heure correspond à une variation de 15° , car la période de la terre dans sa rotation sur elle-même est égale à 24h. Compté négativement le matin lorsque le soleil est vers l'est et positivement le soir.

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

$$\text{TSV} = \text{TU} + 4 (\text{LSt} - \text{Lg}) + \text{ET} \quad (\text{I.3})$$

TU : temps universel standard (mn)

LSt : méridien standard du lieu ($^\circ$)

Lg : méridien local du lieu ($^\circ$)

ET : correction de l'équation du temps, donnée par la relation suivante:

$$\text{ET} = 9,87 \sin(2\text{JD}) - 7,35 \cos(\text{JD}) - 1,5 (\text{JD}) \quad (\text{I.4})$$

$$\text{Avec } \text{JD} = (\text{J} - 81) \times (360/365) \quad (\text{I.5})$$

Et J : nombre de jours à partir du premier janvier.

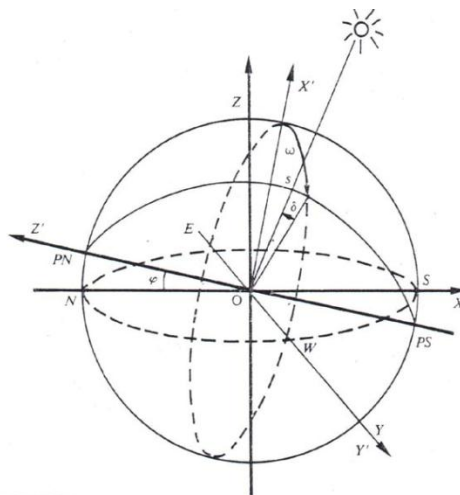


Figure I.3 Repère de coordonnées horaires

I.3.1.2. Repère de coordonnées horizontales

Le repère horizontal est formé par le plan de l'horizon astronomique et la verticale du lieu [1].

Dans ce repère les coordonnées du soleil sont :

-**La hauteur du soleil (h)**: C'est l'angle formé par la direction du soleil et sa projection sur le plan horizontal.

Il est donné par la relation suivante:

$$\sin(h) = \sin(\Phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\Phi) \cdot \cos(\delta) \quad (I.6)$$

Φ : latitude du lieu.

-**Azimut du soleil (a)**: C'est l'angle compris entre la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et le sud. L'azimut est compté positivement vers l'ouest et négativement vers l'est. Il est donné par la relation suivante:

$$\sin(a) = (\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)) / \cos(h) \quad (I.7)$$

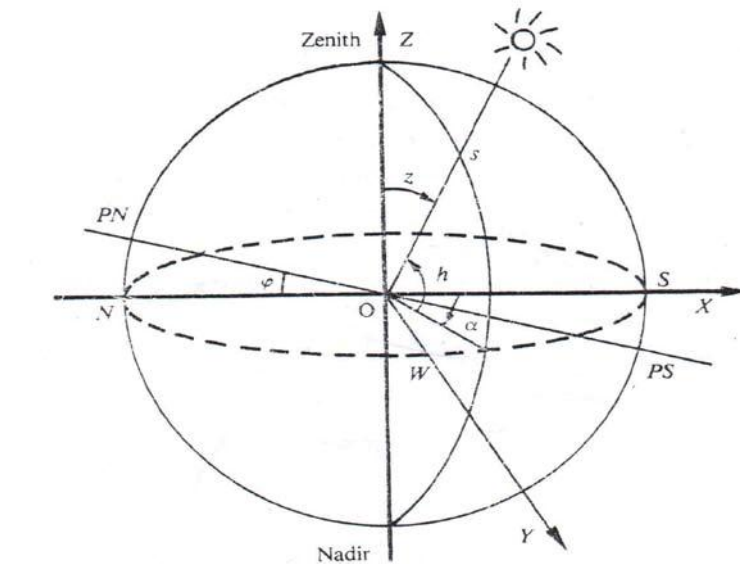


Figure I.4 Repère de coordonnées azimutales

I.3.2 Grandeurs pour le repérage d'un site à la surface terrestre

Un point quelconque d'un lieu donné du globe peut être défini par les coordonnées suivantes [8]

-**Latitude(Φ)**: correspond à l'angle entre le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu et le plan équatorial. Elle varie de -90° à $+90^\circ$, elle est positive vers le nord.

-**Longitude(L)**: représente l'angle entre le plan méridien passant par ce lieu et le plan méridien origine (Greenwich).

L'altitude est la distance verticale entre ce point et une surface théorique de référence (surface de la mer).

I.3.3 Orientation d'un plan

L'orientation d'un plan quelconque est définie par deux angles (α, γ) [8]

α : azimut du plan, c'est l'angle que fait la projection de la normale sur le plan horizontal et la direction du sud.

γ : hauteur du plan, c'est l'angle que fait la normale du plan et sa projection sur le plan horizontal. L'inclinaison β du plan par rapport au plan horizontal est donnée par:

$$\beta = 90 - \gamma \quad (I.8)$$

I.3.4 Angle d'incidence sur un plan

L'angle d'incidence i est l'angle que fait la direction des rayons solaires incidents avec la normale au plan de la surface réceptrice. Il est donné par la relation suivante [8]

$$\cos(i) = \cos(\alpha - a) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(h) + \sin(\gamma) \cdot \sin(h) \quad (I.9)$$

I.4. Le rayonnement solaire

Le rayonnement électromagnétique émis par le soleil est la manifestation externe des interactions nucléaires qui se produisent au cœur du soleil et de l'ensemble des interactions secondaires qu'elles génèrent dans son enveloppe. Il constitue la quasi-totalité de l'énergie expulsée par le soleil.

Le rayonnement solaire est caractérisé par différentes caractéristiques dont la plus importante est la constante solaire, qui est une donnée fondamentale indépendante des conditions météorologiques [8]

La deuxième caractéristique du rayonnement solaire est sa répartition spectrale, qui est à peu près celle d'un corps noir à 5800°K . Le rayonnement solaire est une superposition d'ondes dont les longueurs vont de 0,25 micromètres à 4 micromètres [8]

La figur(I.5) donne l'allure du spectre solaire[6].

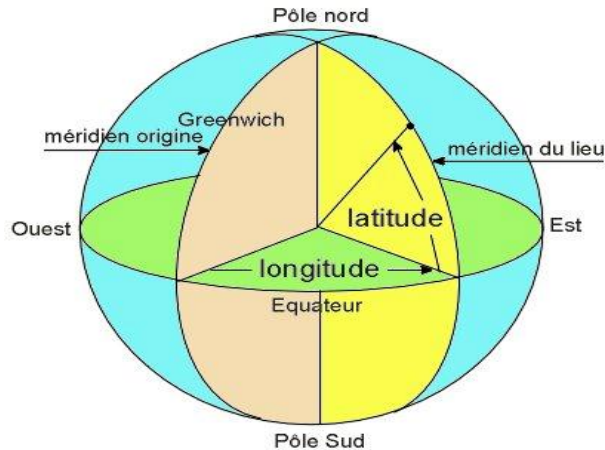


Figure I.5 Repérage d'un site sur la surface terrestre

I.4.1. Orientation d'un plan

L'orientation d'un plan quelconque est définie par deux angles (α, γ) [8],:

α : azimut du plan, c'est l'angle que fait la projection de la normale sur le plan horizontal et la direction du sud.

γ : hauteur du plan, c'est l'angle que fait la normale du plan et sa projection sur le plan horizontal. L'inclinaison β du plan par rapport au plan horizontal est donnée par :

$$\beta = 90 - \gamma \quad (\text{I.10})$$

I.4.2. Angle d'incidence sur un plan

L'angle d'incidence i est l'angle que fait la direction des rayons solaires incidents avec la normal au plan de la surface réceptrice. Il est donné par la relation suivante [8],:

$$\text{Cos}(i) = \text{cos}(\alpha - a) \cdot \text{cos}(\gamma) \cdot \text{cos}(h) + \text{sin}(\gamma) \cdot \text{sin}(h) \quad (\text{I.11})$$

Chapitre II

***Bilan thermique d'un capteur
chauffe- eau-solaire***

1. Introduction

Afin d'arriver à simuler le comportement d'un capteur plan exposé aux rayonnements solaires à une position géographique et une période données nous devons en premier lieu établir les équations mathématiques et les bilans qui régissent les phénomènes thermiques dans le capteur solaire plan.

Dans ce qui suit, on s'intéressera particulièrement à :

- Établir le bilan énergétique au niveau du capteur ;
- Formuler des hypothèses pour simplifier nos calculs ;
- Déterminer les différents coefficients des transferts thermiques ainsi que le coefficient d'échange global ;
- Établir l'analogie électrique-thermique ;

II. Bilan énergétique du capteur

Soit Q_{sa} l'énergie solaire absorbée par un capteur, une partie de celle-ci est récupérée

par le fluide caloporteur c'est l'énergie utile Q_u . Cette énergie peut être directement utilisée ou bien transférée vers un système de stockage (ballon d'eau chaude par exemple).

Un capteur solaire est aussi sujet à des pertes thermiques. Une partie de l'énergie absorbée est transférée vers l'environnement sous forme d'énergie thermique principalement par convection et rayonnement. Ces pertes seront notées Q_p .

Enfin si on s'intéresse à une période de mise en température du système (au démarrage par exemple) il faudra tenir compte de l'énergie absorbée par le capteur nécessaire à cette montée en température. Cette énergie notée Q_{st} , dépend de l'inertie thermique de l'installation. Ainsi le bilan thermique global s'écrit [1] :

$$Q_{sa} = Q_u + Q_p + Q_{st} \quad (II.1)$$

II.1. Hypothèses

Pour simplifier notre étude, un certain nombre d'hypothèses ont été considérées [8] :

1. La surface du capteur est uniformément éclairée ;
2. Le ciel est considéré comme un corps noir à la température T_{ciel} ;
3. Chacun des éléments du capteur soit à une température homogène ;
4. Régime permanent ;
5. Capteur à inertie thermique négligeable (faibles masse des composants et chaleurs spécifiques) ;
6. La température de l'air environnant est homogène, par conséquent on considère que les pertes thermiques vers l'avant et l'arrière se font vers la même température ambiante,
7. L'effet de dépôt de la poussière et les masques sur le capteur sont négligeables,
8. Ecoulement de chaleur unidimensionnel ;

Les hypothèses 4 et 5 font que le flux stocké dans le capteur est négligeable,

$Q_{st} = 0$, et donc l'équation du bilan devient :

$$Q_{sa} = Q_u + Q_p \quad (II.2)$$

Sachant que, l'énergie solaire absorbée par l'absorbeur Q_{sa} vaut :

$$Q_{sa} = \tau_c \alpha_s G_t \quad (II.3)$$

avec,

τ_c : Facteur de transmission de la couverture transparente,

α_s : Facteur d'absorption de la sable absorbante,

G_t : L'éclairement global incident sur le capteur

II.2. Rendement du capteur

Selon [6], la norme stipule que l'étude la plus significative des performances thermiques d'un capteur plan est de déterminer son rendement instantané défini comme étant le rapport entre le flux utile récupéré, sur l'éclairement solaire global incident sur le capteur tel que :

$$\eta = \frac{\int Q_u dt}{\int G_t dt} \quad (\text{II.4})$$

Si les conditions sont constantes sur une période de temps, l'efficacité diminue à :

$$\eta = \frac{\int Q_u}{\int G_t} \quad (\text{II.5})$$

G_t : l'éclairement solaire global incident sur le capteur

II.3. Evaluation des déperditions thermiques du capteur

L'analogie électrique liée aux différentes résistances thermiques lors des échanges de chaleur effectués sur les différents éléments du capteur peut être ainsi adoptée pour effectuer l'analyse thermique. Le schéma du circuit équivalent est ainsi illustré sur la Figure (II.1).

Les pertes thermiques sont dues à la différence de température entre les différents constituants du capteur solaire ainsi qu'avec le milieu ambiant. Elles se manifestent selon les trois modes de transfert de chaleur décrits précédemment. Elles se divisent en Trois catégories :

- Les pertes vers l'avant,
- Les pertes vers l'arrière,
- Les pertes latérales.

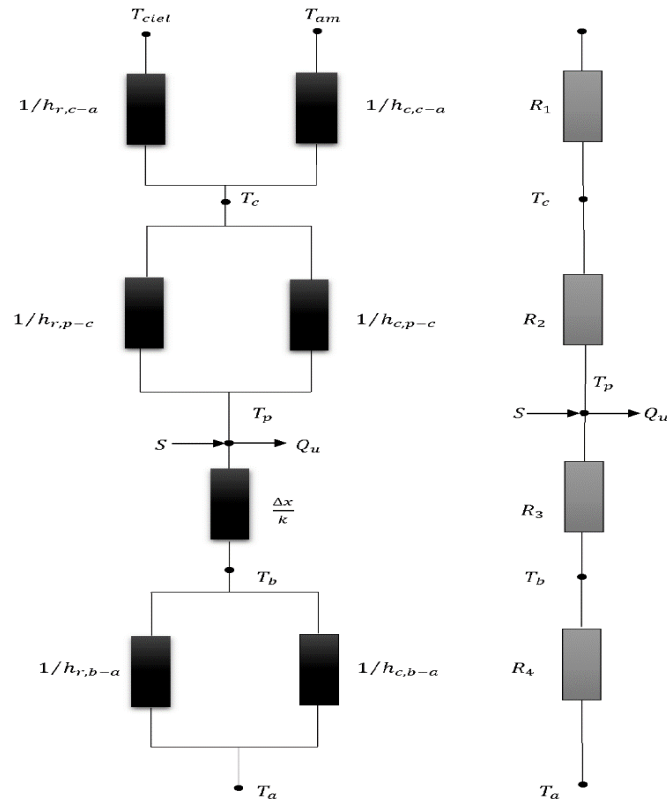


Figure (II-1) : Circuit électrique équivalent relatif à un capteur solaire plan

A partir du schéma électrique équivalent on définit :

R_1 : Résistance thermique entre le milieu ambiant et la vitre,

R_2 : Résistance thermique entre la vitre et l'absorbeur,

R_3 : Résistance thermique entre l'absorbeur et l'isolant,

R_4 : Résistance thermique entre l'isolant et le milieu ambiant.

II.3.1. Pertes à l'avant du capteur

□ Echange de chaleur entre la vitre et le milieu extérieur

Comme le montre la figure (2.1), les pertes entre la vitre et le milieu extérieur sont dues essentiellement au transfert de chaleur par convection et par rayonnement.

$$Q_{p,av1} = (h_{c,c-am} + h_{r,c-ciel})(T_c - T_{am}) \quad (II.6)$$

$h_{r,c-ciel}$: coefficient d'échange par rayonnement entre la vitre et le ciel donné par

$$h_{r,c-ciel} = \frac{\sigma \varepsilon_C (T_C^4 - T_{CIEL}^4)}{T_C - T_{am}} \quad (II.7)$$

$$\text{Avec } T_{ciel} = 0.0552 T_{am} \quad (II.8)$$

$h_{c,c-am}$: coefficient d'échange par convection entre la vitre et l'ambiant ;

$$h_{c,c-a} = 5.67 + 3.86V_{vent}$$

Ce qui nous permet d'écrire l'équation (II.6) sous la forme :

$$Q_{p,av1} = h_{c,c-a} (T_c - T_{am}) + \sigma \varepsilon_c (T_c^4 - T_{ciel}^4) \quad (II.9)$$

Ainsi on définit la résistance équivalente entre le vitrage et le milieu ambiant R_1 qui est alors donnée par

$$R_1 = \frac{1}{h_{c,c} + h_{r,c-ciel}} \quad (II.10)$$

- **Echange de chaleur entre la vitre et l'absorbeur**

Comme précédemment, l'échange de chaleur entre les deux éléments se fait par convection et par rayonnement.

$$Q_{p,av2} = (h_{c,p-c} + h_{r,p-c})(T_p - T_c) \quad (II.11)$$

$h_{r,p-c}$: coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre la vitre et l'absorbeur donnée par

$$h_{r,p-c} = \frac{\sigma (T_p + T_c) (T_p^2 + T_c^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad (II.12)$$

ε_c : Emissivité du verre ;

ε_p : Emissivité de l'absorbeur ;

$h_{c,p-c}$: Coefficient de transfert de chaleur par convection entre la vitre et l'absorbeur.

Pour déterminer le coefficient de convection $h_{c,p-c}$, les corrélations suivantes seront utilisées [8] :

$$Nu = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708(\sin 1.8\beta)^{1.6}}{Ra} \right] \left[1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos\beta} \right] + \left[\left(\frac{Ra \cdot \cos\beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] \quad (II.13)$$

Avec,

β : étant l'angle d'incidence du capteur,

Ra : le nombre de Rayleigh

$$Ra = \frac{g(T_p - T_c)L_c^3}{T_{am}\nu_a \cdot \alpha_a} \quad (II.14)$$

Où,

L_c : longueur caractéristique (espace entre l'absorbeur et la vitre) ;

T_m : la température moyenne de l'air entre l'absorbeur et la vitre, donnée par :

$$T_{ma} = \frac{T_p + T_c}{2} \quad (II.15)$$

Elle permet d'évaluer les caractéristiques de l'air ($\rho_a, \mu_a, \lambda_a, Cp_a$).

$$v_a : \text{la viscosité cinématique de l'air,} \quad v_a = \frac{\mu_a}{\rho_a} \quad (\text{II.16})$$

$$\alpha : \text{la diffusivité thermique de l'air} \quad \alpha = \frac{\lambda_a}{\rho_a \cdot cp_a} \quad (\text{II.17})$$

$$Nu = \frac{h_{c,p-c} \cdot L_c}{\lambda_a} \quad (\text{II.18})$$

D'où on tire le coefficient de convection :

$$h_{c,p-c} = Nu \frac{\lambda_a}{L_c} \quad (\text{II.19})$$

La résistance R_2 peut être écrite :

$$R_2 = \frac{1}{h_{c,p-a} + h_{r,p-c}} \quad (\text{II.20})$$

Ainsi, Le coefficient de pertes à l'avant du capteur à la température ambiante est :

$$U_{av} = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad (\text{II.21})$$

Duffie et Beckman ont donné une relation empirique due à Kelvin pour le calcul du coefficient d'échange global à l'avant U_{av} avec une erreur inférieure à $\pm 0,3 \text{ W/m}^2$ [8]

$$U_{av} = \left(\frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left[\frac{T_{pm} - T_{am}}{N+f} \right]^e + \frac{1}{h_{c,c-a}}} \right)^{-1} + \left(\frac{(T_{pm} + T_{am})(T_{pm}^2 + T_{am}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p + 0.00591 N h_{c,c-a}} + \frac{2N+f-1+0.133\varepsilon_p}{\varepsilon_c} - 1} \right) \quad (\text{II.22})$$

Avec,

U_{av} : Coefficient de pertes avant ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$),

N : Nombre de vitre,

$$f = (1 + 0.089 h_{c,c-a} - 0.1166 \times h_{c,c-a} \times \varepsilon_p)(1 + 0.07866 N),$$

$$h_{c,c-a} = 5,67 + 3,86 \times V_{vent},$$

$C = 520(1 - 0.000051\beta^2)$ Pour $0^\circ < \beta < 70^\circ$, et pour $70^\circ < \beta < 90^\circ$ On prend

$$\beta = 70^\circ,$$

$$e = 0.43(1 - 100T_{sm}),$$

β : Angle d'inclinaison du capteur,

ε_g : Émissivité de la vitre,

ε_s : Émissivité de la sable absorbante,

T_{am} : Température ambiante (K),

T_{sm} : Température de la sable moyenne (K).

II.3.2. Pertes à l'arrière du capteur

Il est souvent possible de négliger la résistance par convection devant celle due à la conduction au sein de l'isolant [8], donc les pertes à l'arrière du capteur sont données par la formule suivante :

$$Q_{p,ar} = \frac{(T_p + T_{is})}{\frac{e_{is}}{\lambda_{is}}} \quad (\text{II.23})$$

Ainsi, à partir de l'équation (2.23), on peut ainsi définir le coefficient de pertes arrières U_{ar} que :

$$U_{ar} = \frac{1}{R_4} = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \quad (\text{II.24})$$

Où λ_{is} et e_{is} sont la conductivité thermique et l'épaisseur d'isolation à l'arrière, respectivement.

II.3.3. Pertes par les faces latérales du capteur

Comme précédemment la résistance par convection est négligée devant celle due à la conduction au sein de l'isolant, donc les pertes par les faces latérales du capteur sont données par la formule :

$$Q_{p,lat} = \frac{(T_p - T_{is})}{\frac{e_{islat} A_c}{\lambda_{is} A_{lat}}} \quad (\text{II.25})$$

Où,

A_c : Surface du capteur ;

A_{lat} : Surface des faces latérales du capteur ;

e_{islat} : Epaisseur de l'isolant sur ses faces latérales ;

On peut ainsi définir le coefficient de pertes par les faces latérales U_{lat} que :

$$U_{lat} = \frac{\lambda_{is} A_{lat}}{e_{islat} A_c} \quad (\text{II.26})$$

Si l'on suppose que toutes les pertes se font vers une température T_{am} (voir hypothèse simplificatrice numéro 6), alors en sommant les coefficients de pertes avant, latérales et arrière on obtient le coefficient de pertes globales U_L :

$$U_L = U_{av} + U_{ar} + U_{lat} \quad (\text{II.27})$$

On peut écrire alors la densité du flux de chaleur total perdu comme ceci :

$$Q_p = U_L (T_{sm} - T_{am}) \quad (\text{II.28})$$

En remplaçant l'équation (II.28) dans l'équation, on obtient l'expression de

l'énergie utile suivante :

$$Q_u = \tau_c \alpha_p G t - U_L (T_{sm} - T_{am}) \quad (\text{II.29})$$

En remplaçant l'équation (II.29) dans l'équation (2.5), on obtient l'expression du rendement instantané du capteur en fonction de la température moyenne de la sable absorbante :

$$\eta = \tau_c \alpha_p - U_L (T_{pm} - T_{am}) / G t \quad (\text{II.30})$$

II.4. Distribution de la température du fluide caloporteur

Considérons un tube de longueur L parmi les n tubes du capteur. Le fluide entre dans le tube à la température T_{fe} et en ressort à la température T_{fs} . D'après ce qui précède, chaque tube gagne un flux utile dQ_u par unité de longueur dans le sens (Oy) de l'écoulement du fluide.

Effectuons un bilan thermique sur la portion de fluide contenue dans un tube entre les distances y et y + dy à partir de l'entrée du tube (Figure II.2).

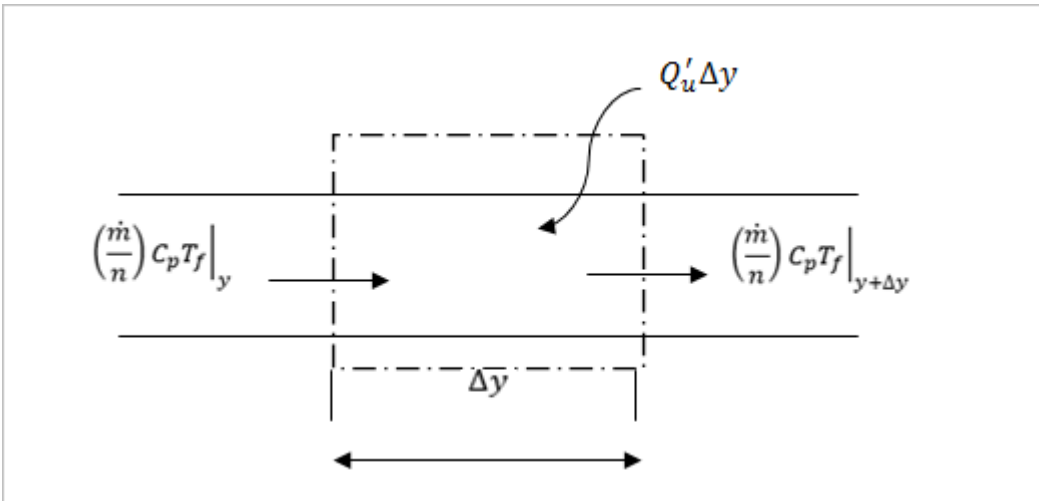


Figure (II.2) : bilan thermique élémentaire du fluide

Avec

n_{tube} : Nombre de tubes ;

\dot{m} : Débit massique total du fluide parcourant les n tubes ;

C_p : Capacité calorifique du fluide ;

Le bilan représenté par la figure (II.2) peut s'écrire :

$$\left(\frac{\dot{m}}{n}\right) C_p T_f|_y - \left(\frac{\dot{m}}{n}\right) C_p T_f|_{y+\Delta y} + dQ_u \Delta y = 0 \quad (\text{II.31})$$

En divisant l'équation (II.31) par dy on obtient :

$$\dot{m} C_p \frac{dT_f}{dy} - n_{tube} P F' [Q_{sa} - U_L (T_f - T_a)] = 0 \quad (\text{II.32})$$

En intégrant entre 0 et y et en supposant que U_L et F' ne dépendent pas de y, on

obtient le profil de température longitudinal du fluide :

$$\frac{T_f(y)-T_a-Q_{sa}/U_L}{T_{fe}-T_a-Q_{sa}/U_L} = \exp\left(\frac{U_L P F' n_{tube}}{\dot{m} C_p} y\right) \quad (\text{II.33})$$

Et par intégration entre $y = 0$ et $y = L$, on obtient l'expression suivante de la température de sortie T_{fs} du fluide dans laquelle $A_c = n \cdot P \cdot L$ qui correspond à la surface de l'absorbeur :

$$\frac{T_{fs}-T_a-Q_{sa}/U_L}{T_{fe}-T_a-Q_{sa}/U_L} = \exp\left(-\frac{U_L A_c F'}{\dot{m} C_p}\right) \quad (\text{II.34})$$

II.5. Facteur de conductance de la sable absorbante

Il est commode de définir une quantité qui concerne le gain en énergie utile réelle d'un collecteur au gain utile si la totalité de la surface du collecteur se trouvaient à la même température d'entrée du fluide. Cette quantité est appelée Facteur de conductance du capteur F_R

Le flux utile récupéré sur la surface totale A_c de l'absorbeur peut se calculer par :

$$Q_u = n \int_0^L dQ_u d_y \quad (\text{II.35})$$

Avec,

$$Q_u = P F' [Q_{sa} - U_L (T_f - T_a)] \quad \text{et} \quad \frac{T_f(y)-T_a-Q_{sa}/U_L}{T_{fe}-T_a-Q_{sa}/U_L} = \exp\left(\frac{U_L P F' n_{tube}}{\dot{m} C_p} y\right)$$

Le calcul de cette intégration conduit à l'expression de la puissance utile par unité de surface donnée par :

$$Q_u = F_R [Q_{sa} - U_L (T_{fe} - T_a)] \quad (\text{II.36})$$

Ou F_R est le facteur de conductance de l'absorbeur défini par :

$$F_R = \frac{\dot{m}_f C_p}{A_c U_L} \left[1 - \exp\left(\frac{A_c F' U_L}{\dot{m}_f C_p}\right) \right] \quad (\text{II.37})$$

Pour présenter graphiquement l'équation (2.37), il est commode de définir le

$$F'' = \frac{F_R}{F'} = \frac{\dot{m}_f C_p}{A_c U_L F'} \left[1 - \exp\left(\frac{A_c F' U_L}{\dot{m}_f C_p}\right) \right] \quad (\text{II.38})$$

La quantité F_R est équivalente à l'efficacité d'un échangeur de chaleur classique.

En remplaçant Q_u par son expression donnée par l'équation (II.36) dans l'équation du rendement instantané équation, on obtient l'expression du rendement instantané d'un capteur plan en fonction de la température d'entrée de fluide caloporteur suivante :

$$\eta = \left[\eta_o - \frac{U_L (T_{fe} - T_{am})}{G_t} \right] \quad (\text{II.39})$$

avec, $\eta_o = \tau_c \alpha_p$ Le rendement optique du capteur.

II.6. Calcul des températures moyennes des éléments du capteur

6.1. Température moyenne du fluide

On peut calculer la température moyenne du fluide caloporteur par l'intégration de l'équation (II.33) de zéro à L :

$$T_{fm} = \frac{1}{L} \int_0^L T_f(y) dy \quad (\text{II.40})$$

La température moyenne du fluide a été évaluée par Klein et al. selon la relation :

$$T_{fm} = T_{fe} + \frac{Q_u/A_c}{F_R U_L} (1 - F'') \quad (\text{II.41})$$

- Le rendement instantané du capteur en fonction du débit massique est donné par [8]:

$$\eta_i = m \cdot C_p \cdot (T_{fs} - T_{fe}) / A_c \cdot G \quad (\text{II.42})$$

Avec,

m : débit massique du fluide caloporteur

C_p : chaleur spécifique de l'eau.

T_{fs} : température de sortie du fluide.

T_{fe} : température d'entrée du fluide.

A_c : surface du capteur solaire.

G : flux solaire global incident.

Chapitre III
partie expérimentale

Introduction

Notre travail pour objectif, l'étude de l'effet de l'intensité de l'éclairement solaire et de l'angle d'inclinaison du capteur solaire plan à eau sur le rendement instantané de ce dernier. Ce capteur existe déjà et fait partie d'un banc d'essai réalisé à LABO Mécanique université Hama Lakhdar El OUED .

Le rendement d'un capteur solaire plan en régime permanent, appelé également rendement instantané peut être évalué expérimentalement par deux méthodes, à savoir:

- La méthode calorimétrique.
- La méthode du bilan thermique.

Mais compte tenu de la faible précision de la première citée, c'est généralement la seconde qui est utilisée et qui fait l'objet des différentes normes. En effet une fois le régime permanent établi, un bilan thermique effectué aux bornes du capteur permet d'exprimer le rendement du système par l'équation 2.26,

$$\eta_i = m \cdot C_p \cdot (T_{fs} - T_{fe}) / A_c \cdot G$$

III.1 Dispositif expérimental

III.1.1 Description du banc d'essai

Le banc d'essai été réalisé au sein Del' LABO Mécanique en université Hama Lakhdar d'el oud .Un site situé au sud Algérien à une latitude 33°, une longitude de 3,81° et une altitude de 450m. Il est caractérisé par un ensoleillement très important, avec

Une irradiation moyenne journalière estimée à 6000 Wh/m², une durée d'insolation d'environ 3000 heures par an et un indice de clarté KT moyen estimé à 0,75.

Le banc d'essai est monté en boucle ouverte selon les normes européennes composée essentiellement de 3 circuits :

A. Un circuit primaire composé de :

- Un capteur plan solaire à un seul vitrage représenté sur la figure (III.1), dont la surface totale est égale à 1,0 * 0,5 m², et la surface d'ouverture égale à 5 m². Il est monté sur une structure rigide en acier réglable à plusieurs niveaux d'inclinaison de 0°, 33°, 45°, 60°. La conception et la forme de l'absorbeur, sont présentées au chapitre 3.



Figure III.1 Représentation du capteur solaire plan

Les caractéristiques du capteur sont données au tableau (III.3)

Tableau III.1 Caractéristiques du capteur

Paramètre	Caractéristique
Cadre Extérieur	Profile de bois
Dodu capteur	Sable noire $\varnothing 0,3\text{mm}$
Isolation arrière	Polystyrène ,épaisseur=40 mm
Isolation latérale	Polystyrène ,épaisseur=40mm
Absorbeur	Ailette en cuivre $\varnothing=0.3\text{mm}$
Tuyaux de l'absorbeur	Tuyaux en cuivre, $\varnothing 16\text{mm}$
Couverture	Verre Trempe ,épaisseur=4mm
Matériel d'étanchéité	Silicone.

III.1.2. Les instruments de mesures utilisés

Description

Le TM300 est un thermomètre robuste pour les thermocouples de type K et J. Le grand écran lumineux et les touches de fonction se trouvant sur le côté permettent une utilisation ergonomique. Étant donné que l'appareil est équipé d'un chronomètre, il est possible de lire les valeurs MIN/MAX/MOY avec un horodatage relatif. Il est possible de connecter toutes les sondes de température de type J et K avec connecteur thermocouple miniature.



Figure III.2: thermocouple

Tableau III.2: Caractéristiques techniques

Étalonnage selon	ISO / DA kKS
Modèle	2 canaux
Affichage	Double écran LCD
Référence	TM300
Poids	200 g
Larg.	63 mm
Hauteur	28 mm
Longueur	220 mm
Résolution (température)	0.1 °C
Avec étalonnage	d'usine
Modèle de capteur	fixe
Type de sonde	K, J
Température max.	+1372 °C

Température min.	-200 °C
Alimentation	3 x 1,5 V/DC (piles LR03)
Précision de base (plus/moins) Â°C	1 °C
Précision de base ±	0.15 %
Catégorie	appareil de mesure de température

III.1.3 Mesure des différentes températures

La mesure des différentes températures du capteur (entrée et sortie du fluide, la sable absorbante, la vite ,l'isolant) la température de la cuve de stockage et la température ambiante est assurée par des thermocouples de type figure (III.2).



Figure III-3 : Thermocouple de type K

Ainsi, 07 thermo couples de type K réalisés par l'équipe basse température ont été utilisés dont leurs installations sur le capteur sont illustrées sur la figure (III-3).

- 02 thermocouples à l'entrée et à la sortie du capteur
- 01 thermocouple mis à l'ombre pour la température ambiante

Ainsi, durant notre campagne de mesure qui a duré deux jours (15 et 16/03/17) le débit du fluide caloporteur observé soit moyen de 1l/200s.

Ce qui peut être aussi déterminé par une méthode simple (artisanale), qui consiste à chronométrer le temps nécessaire pour remplir un réservoir de 1L,

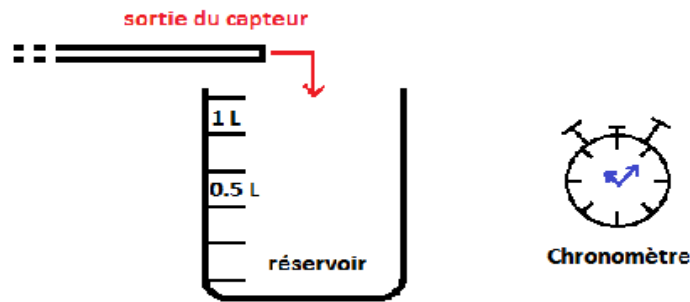


Figure III-4 : Méthode artisanale de mesure de débit

En supposant que 1L d'eau est égal à 1kg d'eau, et en multipliant fois le temps de remplissage on obtient le débit massique de sortie (kg/s).

III.2 Présentation de l'interface

Le logiciel est composé de trois interfaces simples et conviviales. La première interface permet à l'utilisateur de sélectionner et introduire tous les données géographiques (mois, nombre de jours, lieu, type de ciel, albédo du sol ou réflectivité du sol, angle d'inclinaison...etc.); en cliquant sur le bouton qui sélectionne le mode de calcul, permet de visualiser les résultats (courbe d'évolution du rayonnement global en fonction de temps).

La deuxième interface permet à l'utilisateur de sélectionner et introduire les données d'entrée (caractéristiques du capteur, température d'entrée, température ambiante.....etc.) et choisir le type de capteur ainsi que le type des ailettes, la matière de la vitre, l'absorbeur et de l'isolant.

La troisième interface permet à l'utilisateur de modifier la base de données (ajout et suppression...etc.).

III.2.1 Fenêtre de calcul du rayonnement solaire

La fenêtre de la figure(III.3) est utilisée pour calculer le rayonnement solaire globale du jour jusqu'au coucher du soleil, ainsi que l'angle et le traçage des allures en fonction du temps.

Pour choisir les données (mois, jour, type de ciel, lieu, albédo et le modèle de rayonnement) on utilise le combo Box et que le



montre l'exemple suivant:



- L'angle d'inclinaison choisi est saisi dans l'éditeur de texte

angle d'inclinaison

34.8

calculer et tracer

-Pour exécuter l'enchaînement de la procédure du calcul des données sélectionnées, il faut cliquer sur le bouton



Figure III.5: Fenêtre de calcul du rayonnement solaire

III-3 Résultatset discussion

Dans ce chapitre nous salons présent réinterpréter les résultats des tests effectués sur le capteur solaire plan. Est est sont pour but l'étude de l'influence des paramètres tels que le rayonnement solaire et l'angle d'inclinaison du capteur sur le rendement de ce dernier.

Les tests ont été menés pendant le mois de mai et les débuts du mois de mars 2017.

La journée choisie est celle du 02 mars, elle est caractérisée par un ciel totalement clair. Les courbes théoriques et expérimentales sont présentées par le même graphe.

Les résultats sont présentés selon deux

cas :

III-3-1 Premier cas: Capteur solaire plan incliné à 33° et orienté plein Sud.

III.3.1.1. Evolution de l'éclairement

La figure III.6 représente l'évolution des différents éclairagements solaires incidents sur un plan incliné d'un angle $\beta = 33^\circ$ et orienté plein sud c'est-à-dire $\alpha = 0^\circ$.

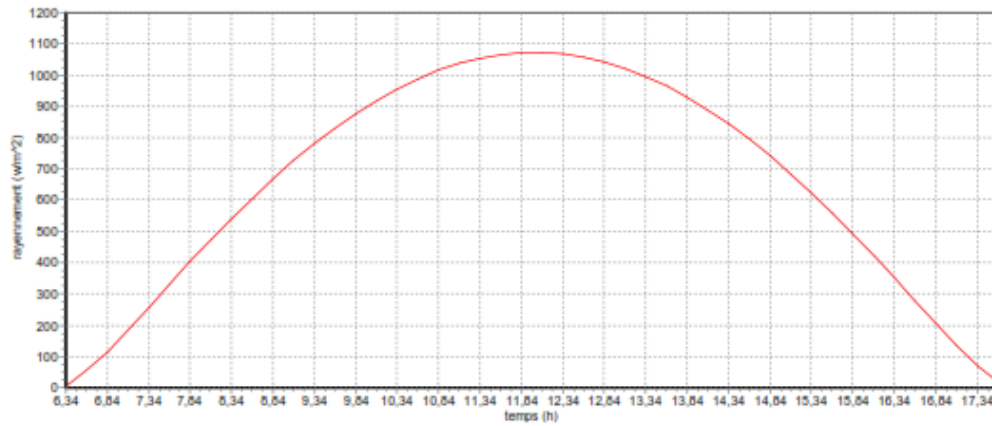


Figure III. 6: L'allure du rayonnement

En analysant les résultats représentés par la figure III.6, on déduit ce qui suit :

- L'allure du rayonnement solaire global a la forme d'une cloche. Il est nul au lever du jour puis il commence à croître avec le temps, il est maximum aux environs de 13 h, 12h TSV, après il commence à décroître pour atteindre le zéro au coucher du soleil.
- Les évolutions théoriques et expérimentales de l'éclairement global sont globalement identiques, la valeur maximale des deux courbes est environ 1000 w.m^{-2} .
- La composante diffuse commence à augmenter avant la composante directe mais sa croissance reste modérée pendant la journée, elle dépasse légèrement 100 w.m^{-2} .
- Finalement, on constate que l'apport de la composante directe dans l'évolution du rayonnement global est le plus important. Pour un rayonnement global d'une valeur égale à 1000 w.m^{-2} , la valeur de l'éclairement direct est presque égale

III.3.2 Evolutions des températures d'entrée et de sortie du fluide caloporteur

La Tableau(III.2) représente les variations des températures d'entrée et de sortie du fluide caloporteur, ainsi que les variations de sa température moyenne

Tableau III.2: mesure Jeudi 02 Mars 2017

temps	Lumière du soleil	T(C°)entrer	T(C°)plaque	T(C°) sable	T(C°) atmosphère
8:00	Air net	18.6	24.6	19.0	17.3
8:30	Air net	19.2	22.5	20.9	18.1
9:00	Air net	19.6	26.3	22.3	18.6
9:30	Air net	20.1	27.2	23.1	19.4
10:00	Air net	20.2	28.0	24.0	19.5
10:30	Air net	21.5	29.4	26.2	20.1
11:00	Air net	25.4	34.8	31.5	21.8

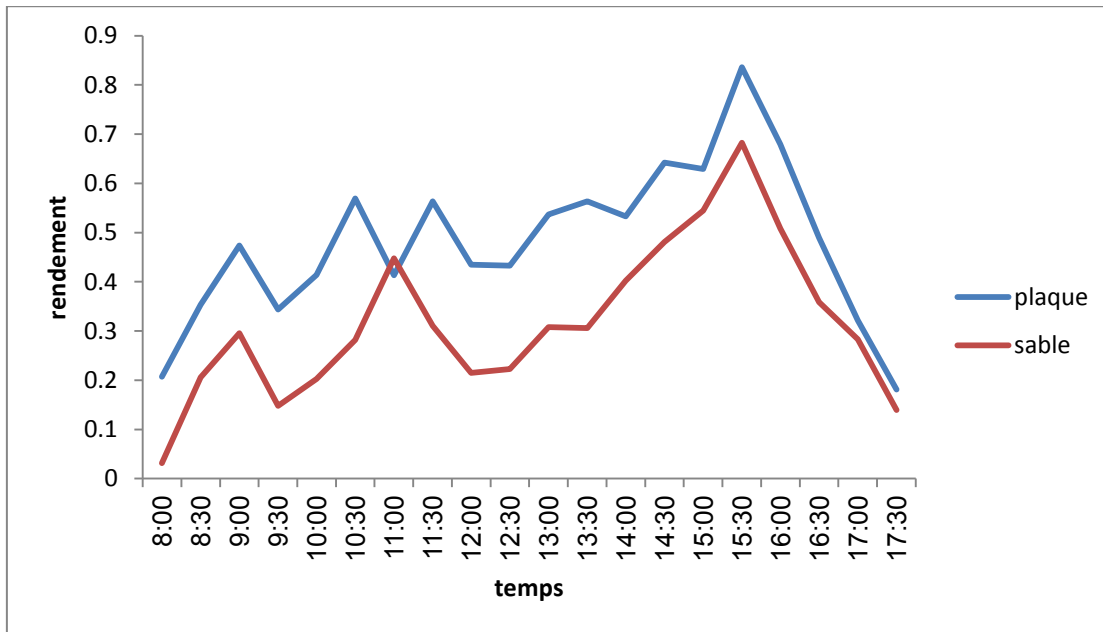
11:30	Air net	25.2	35.1	32.5	22.5
12:00	Air net	25.5	36.4	33.6	22.7
12:30	Air net	25.5	37.3	34.6	23.5
13:00	Air net	26.5	36.2	35.5	23.5
13:30	Air net	26.5	37.4	36.5	23.5
14:00	Air net	26.6	37.0	35.3	24.4
14:30	Air net	26.5	36.2	34.4	24.4
15:00	Air net	26.5	36.9	34.7	24.2
15:30	Air net	27.0	31.0	29.8	24.1
16:00	Air net	27.1	29.4	28.7	24.0
16:30	Air net	27.2	28.5	27.9	23.5
17:00	Air net	26.5	27.3	27.3	23.0
17:30	Air net	26.3	26.6	26.8	22.6

L'analyse de la Tableau(III.2) représentant les variations des températures d'entrée et de sortie du fluide caloporteur pendant la journée de test, nous montre que l'écart de température entre les tableau à un instant donné nous renseigne d'une manière pratique sur l'évolution du rendement instantané du capteur qui est directement proportionnel à cet écart ;par exemple à 9 h ce dernier est de l'ordre de 22.3°C, il augmente pour atteindre son maximum 36.5 °C aux alentours de midi solaire, moment qui correspond à un éclairage maximum aussi

Nous remarquons aussi que l'allure de la courbe théorique représentant la température moyenne du fluide est similaire aux allures des tableau expérimentales des températures d'entrée et de sortie du fluide caloporteur, ceci nous permet de dire que nous avons obtenu des résultats très satisfaisants.

III.3.2.1. Rendement instantané

La figure (III.3) représente l'évolution temporelle du rendement instantané du capteur solaire plan.



Figure(III.7) Variation temporelle du rendement instantané

Le premier constat qu'on peut tirer de l'analyse de cette figure et que l'allure de la courbe décrivant l'évolution du rendement instantané théorique et l'allure de la courbe décrivant l'évolution du rendement instantané expérimental sont identiques, chose qui nous permet d'affirmer que les résultats obtenus sont très satisfaisants.

Nous remarquons également que le rendement instantané commence à diminuer après avoir atteint son maximum (presque 64%) aux environs de 15h30 malgré l'augmentation de la température de sortie du fluide caloporteur, ceci est dû à l'augmentation des pertes thermiques vers le milieu ambiant extérieur

III.4 Deuxième cas : Capteur solaire plan à inclinaisons et orientations variables

Dans cette partie nous avons étudié quatre différents cas :

1. Capteur solaire plan incliné à la latitude du lieu (32° dans notre cas) et orienté plein sud (l'azimut $\alpha = 0$).
2. Capteur solaire plan incliné à la latitude du lieu (32° dans notre cas) et d'orientation variable (l'azimut α est variable).
3. Capteur solaire plan d'inclinaison variable (β variable) et orienté plein sud ($\alpha = 0$).
4. Capteur solaire plan d'inclinaison variable et d'orientation variable.

Pour faire varier les inclinaisons et les orientations du capteur solaire plan, nous avons utilisé un Logiciel conçu par Monsieur M.R Yaiche Chercheur au CDER, destiné au calcul des paramètres astronomiques à l'usage des installations solaires.

III .4.1.Evolution de l'éclairement solaire

La figure(III.8) représente l'évolution de l'éclairement solaire en fonction du temps pour différentes inclinaisons et différentes orientations du capteur.

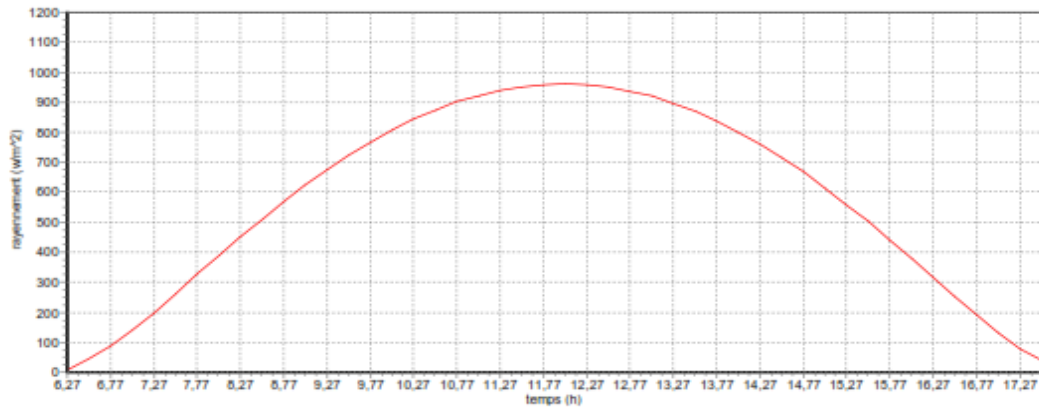


Figure III.9. Evolution de l'éclairement solaire en fonction du temps

L'analyse de cette figure nous permet de constater que la meilleure manière pour avoir plus d'éclairement incident sur la surface d'un capteur solaire plan est d'opter pour le système de poursuite solaire, c'est-à-dire changer l'inclinaison et l'orientation du capteur solaire suivant les variations de la position du soleil dans le ciel durant la journée du test.

Nous remarquons également qu'on peut avoir de bons résultats, mais à un degré moindre, si on fixe l'inclinaison du capteur à la latitude du lieu et on fait changer son orientation selon la position du soleil dans le ciel.

Pour une inclinaison variable et une orientation plein sud, l'éclairement solaire incident peut atteindre 1080 w.m^{-2} .

III.4.2. Variations des températures d'entrée et de sortie du fluide caloporteur

Tableau III.3.: mesure Jeudi 09 Mars 2017

temps	Lumière du soleil	T(C°)entrer	T(C°)plaque	T(C°) sable	T(C°) atmosphère
8:00	Air net	22.4	25.7	23.3	20.6
8:30	Air net	22.4	27.3	24.6	21.6
9:00	Air net	22.9	29.5	26.0	21.9
9:30	Air net	26.1	36.6	32.1	25.5
10:00	Air net	26.1	38.0	32.9	26.2
10:30	Air net	27.7	41.6	35.9	27.7
11:00	Air net	29.7	42.5	37.4	28.6
11:30	Air net	32.1	46.6	40.3	31.4
12:00	Air net	32.8	49.2	42.0	28.9
12:30	Air net	33.0	49.3	42.0	31.9
13:00	Air net	33.2	44.4	40.0	30.2
13:30	Air net	35.0	46.2	41.0	30.2
14:00	Air net	35.7	46.8	41.3	32.7
14:30	Air net	33.8	43.3	39.6	32.0
15:00	Air net	33.5	42.6	39.0	31.0
15:30	Air net	33.0	40.9	38.5	31.3
16:00	Air net	32.6	38.8	37.9	30.0
16:30	Air net	32.1	35.6	37.0	29.5
17:00	Air net	31.4	33.6	35.8	26.3
17:30	Air net	31.0	32.8	33.5	26.1

On constate que les évolutions des courbes représentant les variations de température du fluide caloporteur pour différentes inclinaisons et orientations du capteur s'accordent avec ceux décrivant les évolutions des éclairagements incidents respectifs pour un ciel clair; ce qui veut dire que le profil de la température de sortie du fluide caloporteur suit les variations temporelles de l'éclairagement solaire incident. Donc plus l'éclairagement solaire absorbé par le capteur est élevé, plus l'augmentation de la température de sortie du fluide caloporteur sera.

III.4.3 Variations temporelles du rendement instantané

La figure (III.10) décrit l'évolution du rendement instantané du capteur pour différentes inclinaisons et orientations

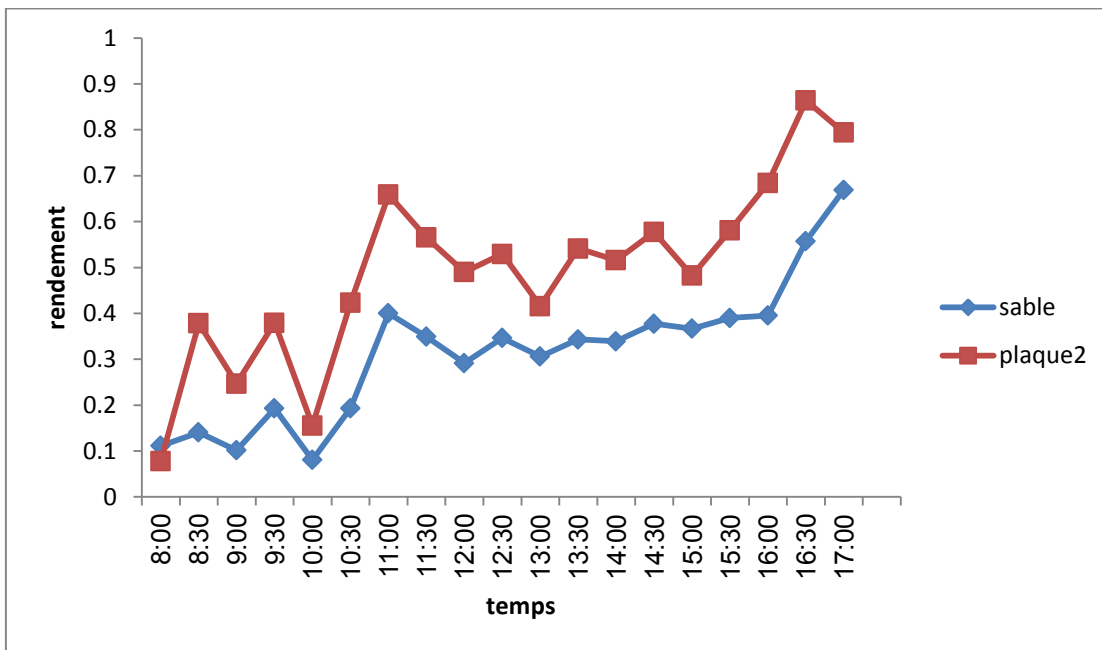


Figure III.11. Rendements instantanés

Une comparaison des rendements instantanés est donnée par cette figure(III.11). On constate une meilleure performance pour un capteur plan à inclinaison variable et orienté plein sud. Le capteur plan à système de poursuite a le rendement le plus bas malgré qu'il soit le capteur qui reçoit le plus d'éclairement incident et ceci s'explique par le fait que l'augmentation du taux du rayonnement solaire absorbé par le capteur entraîne l'augmentation de la température de l'absorbeur, donc l'écart de température entre cette dernière et la température ambiante sera plus important et par conséquent les pertes thermiques vers le milieu ambiant extérieur seront élevées.

III.3. Conclusion

Des résultats obtenus, il est aisé de remarquer que :

- Le taux de l'éclairement solaire reçu par le capteur solaire plan thermique croît avec l'augmentation de l'inclinaison du capteur.

- L'évolution du rendement instantané du capteur plan est proportionnelle à la croissance de l'éclairement solaire incident, mais au-delà d'une certaine température de fonctionnement du fluide caloporteur (température de sortie), cette température

maximum est de l'ordre de 120°C pour un éclairement solaire global $= 1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ [1], toute augmentation de l'éclairement incident absorbé par le capteur entraîne une diminution du rendement instantané et vice versa. Ceci peut être expliqué par le fait que la différence de température entre l'absorbeur et le milieu extérieur génère des pertes thermiques. Plus cette différence de température est importante, plus les pertes le sont aussi.

En conclusion, nous retiendrons qu'un capteur solaire plan est d'autant plus performant du point de vue rendement :

- Qu'il fonctionne à une température proche de la température ambiante, en d'autre terme l'écart de température entre la température de l'absorbeur et la température ambiante soit faible. Donc, le travail à basse température est le mieux indiqué.
- Que l'éclairement solaire incident est important, ce qui nécessite une inclinaison adaptée. Dans la littérature on trouve que, la position optimale qui assure une bonne réception du rayonnement solaire période hivernale lorsque la trajectoire du soleil est basse dans le ciel est une inclinaison plus élevée que la latitude du lieu de 10° à 15° . Contrairement à la période estivale, pendant laquelle où il est conseillé d'incliner le capteur plan d'un angle inférieur à la latitude du lieu de 10° à 15° [8].

CONCLUSION Générale

Dans le cadre de ce travail, nous avons fait une étude théorique et expérimentale de deux Capteur solaire plans à eau dans le but de mettre en évidence l'influence de la couche de sable noire comme un absorbeur sur le rendement instantané de capteur.

Après avoir passé en revues quelques données astronomiques nécessaires pour toute l'étude de dispositifs solaire. Un bilan thermique du capteur solaire plans a été développé qui nous donne les différentes équations qui régissent le comportement thermique de ce dispositif en régime permanent, aussi que l'expression de son rendement instantané. Le dispositif solaire objet de notre étude, est un capteur à sable teinte pour le chauffage d'eau réalise au sein de notre université (EUCHL) située à EL-OUED Tous les éléments qui le constituent ainsi que les appareils et le logiciel de mesure utilisés dans le test ont été présentés.

Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence de sable comme un absorbeur sur le rendement instantané.

Référence

- [1] V. KELNER, "Régulation solaire thermique et stockage de chaleur," 2012
- [2] Aoues, K., N. Moumami, et al. (2009). "Amélioration des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air: Etude expérimentale dans la région de Biskra." *Revue des Energies renouvelables* 12(2): 237-248
- [3] N'Tsoukpoe, K. E., T. Schmidt, et al. (2014). "A systematic multi-step screening of numerous salt hydrates for low temperature thermochemical energy storage." *Applied Energy* 124: 1-16
- [4] BAISSI, M. T. (2012). Etude théorique et expérimentale des paramètres de fonctionnement d'un capteur solaire plan, Université Mohamed Khider-Biskra.
- [5] Chaouki, B. (2017). ["Production et performance des capteurs hybrides (PV/T) à eau intégrés dans le bâtiment".
- [6] Njomo, D. (1998). "Étude théorique du comportement thermique d'un capteur solaire plan à air à couverture combinée plastique-vitre." *Revue générale de thermique* 37(11): 973-980.
- [7] Letz, T. and M. Lallemand (1986). "Etude théorique et expérimentale d'un capteur solaire plan à air en régime dynamique." *Revue de physique appliquée* 21(11): 727-734.
- [8] BENKHELIFA-Abdelaziz.pdf, "Modélisation et expérimentation d'un capteur solaire plan à eau
- Influence de l'intensité de l'éclairement solaire et de l'inclinaison
du capteur solaire sur le rendement du capteur," /2012
- [9] A. BRAHIMI, "Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau," Février 2016.