



**Université Kasdi Merbah Ouargla**  
**Faculté des Hydrocarbures, des**  
**Energies Renouvelables et de Science de**  
**la Terre de l'Univers**  
**Département des Energies Renouvelables**



**Mémoire**

**Master Académique**

**Domaine : Sciences et Techniques**

**Filière : Energies Renouvelables**

**Spécialité : Energies Renouvelables en mécanique**

**Présenté Par : AYACHI OMAR Abdelwahid ; GASMI Massoud**

**THÈME :**

**Etude de l'effet des paramètres sur les performances d'un capteur solaire plan à fluide liquide dans le site d'Ouargla**

**Soutenu publiquement le : 09 / 07 /2019**

**Devant le jury :**

<b>Mr Dernouni M'Hamed</b>	Président	UKM Ouargla
<b>Mr Maammeur Hocine</b>	Examineur	UKM Ouargla
<b>Mr Zerrouati Ali</b>	Encadreur	UKM Ouargla
<b>Mr Frehia Hamza</b>	Co-Encadreur	UKM Ouargla

**Année Universitaire : 2018 /2019**

# *Dédicace*

*A nos chère famille du petit au grand*

*A nos enseignants et professeurs du primaire à  
l'université*

*A toutes nos amies*

*Nous dédions ce modeste travail*

**ABDELWAHID ET MASSOUD**

---

# Remerciements

*En premier lieu, nous remercions notre DIEU, notre Créateur pour avoir donné la force pour accomplir ce travail.*

*Nous adressons nos chaleureux sentiments de gratitude et de remerciement à notre encadreur **Pr. Zerrouati Ali**; gratitude et reconnaissance pour son aide, son encadrement dont on a bénéficié durant toute notre étude. Pour son encouragement, ses conseils précieux, sa disponibilité, ses suggestions pertinentes, ses critiques constructives et surtout pour sa patience tout au long de la réalisation de ce mémoire. Nous étions toujours satisfaits par sa pédagogie et sa modestie qui nous ont grandement permis de surmonter les difficultés et faire face aux autres problèmes rencontrés afin de bien achever ce travail.*

*Nous remercions vivement les membres de ce respectable jury :*

- *Monsieur le DC. **Dernouni M'Hamed**; nous suis très honoré que vous ayez accepté la présidence du jury de ce Mémoire. Vous trouvez ici l'expression de mes sincères remerciements et soyez assuré de ma profonde gratitude Le DC.*
- *Monsieur Le DC. **Maammeur Hocine**; votre venue en tant qu'examineur m'honore, Nous avons très reconnaissants et je vous adresse mes vifs remerciements.*  
*Nous désirons aussi, exprimer mon essentiel remerciement :*
- *Monsieur Le DC. **Frihia Hamza Co-Encadreur votre**, votre venue en tant m'honore, nous avons très reconnaissante et nous vous adresse mes vifs remerciements.*
- *Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.*

# Sommaire

Dédicace

Remerciement

Nomenclature

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Introduction Générale.....1

## Chapitre I : Généralités

1.1	Utilisation directe de l'énergie solaire .....	3
1.2	L'énergie Solaire thermique .....	3
1.3	Définition et principe d'un capteur solaire .....	3
1.	Les différents types des capteurs solaires thermiques [3-5] .....	4
1.3.1	Les capteurs à concentration : .....	4
1.3.2	Les capteurs solaires plans .....	5
b.	Fonctionnement.....	5
1.3.3	Les capteurs plans non vitrés .....	7
a.	Usage .....	7
b.	Construction – Fonctionnement.....	7
1.4.4	Capteur à tubes évacués ( Sans air).....	8
a.	Usage .....	8
b.	Construction – Fonctionnement.....	8
c.	Implantation .....	8
1.4.5	Les capteurs soleil plans.....	9
1.5	Définition des différentes caractéristiques des capteurs solaires.....	10
1.4	Conclusion .....	11

## CHAPITRE II : LES SYSTEMES SOLAIRES THERMIQUES PLANS

2.1	Composants des systèmes solaires plans .....	12
2.2	Description des capteurs solaires plans[3].....	12
2.3	Les composants du capteur plan .....	13

# SOMMAIRE

2.3.1	L'absorbeur: .....	13
2.3.2	La couche sélective de l'absorbeur .....	13
2.3.3	La couverture transparente .....	14
2.3.4	L'isolation thermique .....	14
2.3.5	Le cadre .....	14
2.3.6	Le fluide caloporteur .....	15
2.4	Paramètres et caractéristiques le fonctionnement d'un capteur[8] .....	15
2.5	Conclusion .....	16

## Chapitr III : Energétique des capteurs solaires plans

3.1	Introduction et objectifs .....	17
3.2	Le rayonnement solaire.....	17
3.2.1	Irradiation journalière sur un plan incliné .....	19
3.2.2	Atténuation du rayonnement solaire par l'atmosphère[14].....	20
3.2.3	Rayonnement solaire reçu au niveau du sol .....	21
3.3	Transfert thermique dans les capteurs solaires .....	22
3.3.1	Transfert de chaleur par conduction.....	22
3.3.2	Transfert de chaleur par convection .....	22
3.3.3	Transfert de chaleur par rayonnement.....	24
3.4	Les différentes pertes thermiques dans un capteur solaire .....	25
3.4.1	Evaluation des déperditions thermiques du capteur .....	25
3.5	Bilan énergétique du capteur .....	29
3.5.1	Rendement du capteur.....	31

## Chapitre IV : Résultats et discussions

4.1	Introduction.....	36
4.2	Présentation générale du lieu (Ouargla).....	36
4.3	Qu'est-ce que meteonorm?.....	37
4.4	Qu'est-ce que TRNSYS?.....	38
4.5	Effet de Les paramètres externes .....	39
4.5.1	Effet du rayonnement global sur la puissance utile: .....	39
4.5.2	Effet de la température ambiante .....	43
4.5.3	Effet de la vitesse du vent .....	45

# SOMMAIRE

4.5.4	Effet de angle d'inclinaison du capteur.....	46
4.6	Effet Les paramètres internes .....	47
4.6.1	Effet de la nature du fluide caloporteur.....	47
4.6.2	Effet du debit.....	48
4.6.3	Effet de la nature du matériau absorbant.....	48
4.6.4	Effet La surface du capteur .....	50
4.6.5	Effet la température entrée .....	51
4.6.6	Effet des propriétés thermophysiques de l'isolant .....	52
4.6.7	Effet de l'épaisseur de l'isolant.....	53
4.7	validation des résultats.....	54
4.8	Conclusion .....	55

Conclusion générale ..... **Error! Bookmark not defined.**

Annexe :

1.	Description du soleil .....	62
2.	Le mouvement de la terre .....	63
3.	Mouvement apparent du soleil .....	64
4.	Grandeurs géographiques et astronomiques .....	65
1.	Grandeurs pour le repérage du soleil .....	65
2.	Repère de coordonnées équatoriales.....	65
3.	Repère de coordonnées horizontales.....	66
5.	Grandeurs pour le repérage d'un site à la surface terrestre .....	67
6.	Les temps solaires.....	67
1.	Le temps solaire vrai (TSV) .....	67
2.	Le temps solaire moyen (TSM).....	67
3.	Le temps universel (TU).....	68
4.	Temps légal (TL).....	68
5.	Lever et coucher du soleil.....	68
6.	La durée du jour.....	69

# SOMMAIRE



## Nomenclature

Symbole	Désignation	Unité
$C_{p_i}$	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 <sup>2</sup>
$g$	Accélération de la pesanteur	m/s <sup>2</sup>
$h_{c,i-j}$	Coefficient d'échange thermique par convection entre deux systèmes d'indice $i$ et $j$	W/m <sup>2</sup> .K
$h_{r,i-j}$	Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre deux systèmes d'indice $i$ et $j$	W/m <sup>2</sup> .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
$G_t$	Rayonnement solaire global	W/m <sup>2</sup>
$m_i$	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

# NOMENCLATURE

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

Lettre grecque	Désignation	Unité
$\alpha$	Facteur d'absorption	-
$\beta$	Inclinaison du capteur	°
$\varepsilon$	Emissivité d'un corps	-
$\eta$	Rendement instantané	-
$\lambda$	Conductivité thermique	W/m <sup>2</sup> .K
$\mu$	Viscosité dynamique	Kg/m.s
$\rho$	Masse volumique	Kg/m <sup>3</sup>
$\tau$	Facteur de transmission	-
$\sigma$	Constante de Stefan Boltzmann	W/m <sup>2</sup> .K <sup>-4</sup>

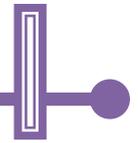
## Liste Des Figures

<b>Figure N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure. I-1</b>	Composants d'un capteur solaire plan Généralité	04
<b>Figure. I-2</b>	Concentrateur cylindre-parabolique	05
<b>Figure.I-2</b>	Composants d'un capteur solaire plan	05
<b>Figure. I-3</b>	Rayonnements – Echanges thermiques d'un capteur solaire plan	06
<b>Figure.I-4</b>	Les capteurs solaires non vitrés	07
<b>Figure.I-5</b>	Capteur à tubes évacués (Sans air)	09
<b>Figure.I.7</b>	Les capteurs plans vitrés	09
<b>Figure.I-8</b>	Principe de fonctionnement des capteurs plans vitrés	09
<b>Figure II-1</b>	Description des capteurs solaires plans	12
<b>Figure II-2</b>	Composants d'un capteur solaire plan	13
<b>Figure.III-1</b>	la spectre solaire	18
<b>Figure.III-2</b>	Variation annuelle de la constante solaire	19
<b>Figure. III -3</b>	Spectre du rayonnement solaire	20
<b>Figure.III-4</b>	Rayonnement direct, diffus et global[12]	21
<b>Figure III -5</b>	Circuit électrique équivalent relatif à un capteur solaire plan	25
<b>Figure III-6</b>	Rose d'orientation	30
<b>Figure III-7</b>	Le flux absorbé par la vitre	31
<b>Figure IV-1</b>	Evolution du rayonnement global en fonction de temps 24/11/2018	38
<b>Figure IV-2</b>	Evolution du rayonnement global en fonction de temps 27/12/ 2018	39
<b>Figure IV-3</b>	Evolution du rayonnement global en fonction de temps 10/01 / 2019	39
<b>Figure IV-4</b>	Evolution du rayonnement global en fonction de temps 19/02 /2019	40
<b>Figure IV-5</b>	Evolution du rayonnement globa en fonction de temps 15/03/2019	42

# LISTE DES FIGURES

<b>Figure IV-6</b>	Evolution du rayonnement global en fonction de temps 04/24/2019	43
<b>Figure IV-7</b>	Evolution du rendement instantané et température ambiante en fonction de temps pour les journées du 10/01/2019, 19/02/2019 et 15/03/2019	44
<b>Figure IV-8</b>	Evolution du rendement instantané et la vitesse du vent en fonction de temps pour les journées du 10/01/2019, 19/02/2019 et 15/03/2019	45
<b>Figure IV-9</b>	Evolution du rendement instantané en fonction de l'inclinaison du capteur	46
<b>Figure IV -10</b>	Evolution du rendement instantané en fonction de la nature du fluide pour la journée 21/02/2019	48
<b>Figure IV-11</b>	Variation du rendement instantané du capteur plan en fonction de temps temps et des débits sélectionnés de 50, 100, 200 et 400kg/h	49
<b>Figure IV-12</b>	Variation du rendement instantané en fonction des propriétés de l'absorbeur	50
<b>Figure IV-13</b>	Variation du rendement instantané du capteur plan en fonction de temps du sélectionnés la surface 10,6,4m <sup>2</sup>	51
<b>Figure IV-14</b>	Variation du rendement instantané du capteur plan en fonction de temps du la température entrée sélectionnés	53
<b>Figure IV-15</b>	Evolution du rendement instantané en fonction des propriétés de l'isolant	53
<b>Figure IV-16</b>	Evolution du rendement instantané en fonction de l'épaisseur de l'isolant	54
<b>Figure IV.17</b>	Variation temporelle de la température du fluide et rayonnement global	55

# LISTE DES FIGURES



## Liste Des Tableaux

<b>Tableau N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau.I-1</b>	<b>Coefficient de déperdition du capteur (<math>W/m^2/^\circ C</math>)</b>	<b>10</b>
<b>Tableau.III-1</b>	<b>Répartition spectrale du rayonnement thermique[11]</b>	<b>17</b>
<b>Tableau. IV.2.</b>	<b>Caractéristiques des matériaux utilisés comme absorbeur</b>	<b>45</b>
<b>Tableau IV.3.</b>	<b>Caractéristiques du capteur plan étudié</b>	<b>48</b>
<b>Tableau. IV.4.</b>	<b>Paramètres internes et externes favorables aux meilleures performances de fonctionnement du capteur étudié</b>	<b>54</b>

# **LISTE DES TABLEAUX**



## Introduction Générale

L'énergie solaire qui est l'une des énergies nouvelles les plus facilement exploitables, a connu ces dernières années un grand essor de par la diversité de ses applications et l'intérêt qu'elle suscite à travers le monde. Cependant, le prix élevé de l'énergie solaire par rapport à celui des sources d'énergie conventionnelles constitue un handicap face à l'expansion tant attendue de l'utilisation de l'énergie solaire.

L'optimisation des systèmes énergétiques solaires est parmi les solutions préconisées pour tendre de renverser la tendance actuelle des choses et voir les applications de l'énergie solaire se répandre davantage de par le monde.

L'application la plus simple et la plus immédiate de l'énergie solaire, est la production d'eau chaude à usage domestique. C'est aussi l'une des plus anciennes, puisque plusieurs systèmes de chauffe-eau solaires ont été conçus depuis les débuts du vingtième siècle jusqu'à nos jours à travers le monde, plus performants les uns que les autres.

Un système de chauffage solaire se compose généralement de trois parties, la captation, le stockage, et la distribution. La captation est la partie principale de la conversion solaire. Elle est constituée par le capteur solaire. C'est ce dernier qui convertit l'énergie solaire en chaleur qu'il transmet au fluide caloporteur contenu dans son absorbeur. Donc, vu le rôle très important que joue le capteur solaire dans le processus de la conversion de l'énergie solaire en énergie thermique, plusieurs travaux ont portés sur l'étude du capteur solaire plan et ayant surtout pour but l'amélioration de son rendement instantané qui est la performance la plus significative. Le rendement instantané du capteur solaire plan varie avec la géométrie du capteur, ses paramètres internes et les paramètres externes comme l'irradiation solaire, la température ambiante etc.

Le but de notre travail est d'étudier l'effet des paramètres sur la performance principale (rendement thermique) du capteur plan de fluide dans le site de Ouargla.

L'étude comprend :

Chapitre I : généralité sur l'énergie solaire et ces applications, les différents capteurs solaires, le principe de fonctionnement, leurs caractéristiques et la performance principale.

Chapitre II : Description des systèmes énergétiques plans.

Chapitre III : Rayonnement solaire, Energiques et calcul des performances des capteurs solaire plans.

Chapitre IV : Etude de l'effet des paramètres géométriques et énergétiques sur les performances d'un capteur solaire plan à liquide. À cette fin, le programme meteonorm et le logiciel Trnsys sont utilisés, pour déterminer l'évolution de l'irradiation solaire, des températures ambiante,

d'entrée et de sortie du fluide caloporteur et des performances du capteur plan à eau en particulier la puissance utile et le rendement thermique en fonction du temps. L'effet des paramètres : saisons ou la température ambiante, l'inclinaison du capteur, les dimensions géométriques du capteur, le débit du fluide, la nature du fluide et le matériau de l'absorbeur. Les différents résultats sont représentés graphiquement, commenté et interprété. Les résultats de performance sont validés par les résultats de la littérature.

Ces différents chapitres sont complétés par une introduction et conclusion générale.

# Chapitre I : Généralités

## **1.1 Utilisation directe de l'énergie solaire**

L'énergie solaire permet d'assurer des conditions de température favorables à la vie et anime les cycles de l'eau, des vents et du carbone dans la biosphère. Mais elle peut aussi être utilisée directement pour produire de la chaleur à différents niveaux de température pour divers usages : chauffage et climatisation de locaux, séchage de produits agricoles, production d'eau chaude et de vapeur, production d'électricité par le biais de cycles thermodynamiques. La production solaire au moyen des cellules solaires.

## **1.2 L'énergie Solaire thermique**

L'énergie solaire est transmise vers la terre par le rayonnement solaire sous forme d'onde électromagnétique propulsée par des photons lesquels sont des quantas d'énergie résultant de l'interaction électrons-protons. La conversion thermique de l'énergie de rayonnement solaire s'effectue dans un capteur solaire thermique (ou capteur héliothermique ou panneaux solaires thermiques). C'est un dispositif conçu pour recueillir l'énergie provenant du soleil en convertissant la lumière en chaleur et la transmettre à un fluide caloporteur liquide (eau ou antigel ou air). Le capteur thermique est désigné comme capteur photothermique. Le rayonnement se décline de différentes façons :

- En usage direct de la chaleur (basse température): chauffe-eau, chauffage-solaires, cuisson solaire, séchage solaire.
- En usage indirect, la chaleur servant pour un autre usage : climatisation solaire, centrales solaires thermodynamiques.
- Concentration solaire (haute température), fours solaires.

## **1.3 Définition et principe d'un capteur solaire**

Un capteur solaire (figure 1) est un dispositif qui absorbe le rayonnement solaire et le convertit en chaleur qui sera transmise à un fluide "fluide caloporteur". Ce système de captage a pour base l'effet de serre où le rayonnement est capté dans le domaine du visible et du proche infrarouge (longueurs d'ondes comprises entre 0.3 et 3  $\mu\text{m}$ ), il traverse la vitre et il est piégé à l'intérieur où il est capté par la surface absorbante[1].

L'absorbeur émet du rayonnement thermique dans un domaine de l'infrarouge éloigné au visible (entre 4 et 30 $\mu\text{m}$ ). Ce rayonnement est totalement arrêté par la paroi du verre qui s'échauffe et rayonne par en partie vers la surface absorbante et en partie vers l'extérieur. Le fluide qui circule sous cette paroi récupère par convection une partie de cette énergie absorbée et subit une élévation de température à la traversée du capteur[2] .

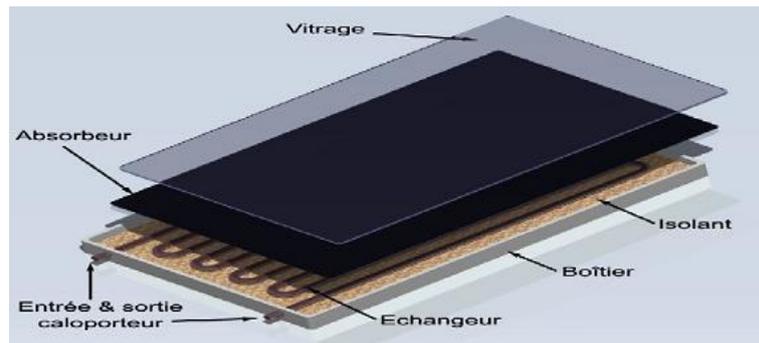


Figure. I-6 Composants d'un capteur solaire plan généralité

## Les différents types des capteurs solaires thermiques [3-5]

### 1.3.1 Les capteurs à concentration :

Dans les systèmes à concentration, le rayonnement solaire direct est reçu par une surface de grande taille appelée surface d'ouverture, puis dirigé vers un absorbeur de surface plus petite. La figure(I-2) représente un capteur à concentration le plus répandu en pratique.

Ce résultat est obtenu grâce à une ou plusieurs réflexions sur des miroirs, ou à des réfractions (à travers des prismes, ou lentilles). Dans les dispositifs à concentration on notera la présence de nombreux avantages et inconvénients.

#### ▪ Les avantages :

- ✓ La diminution de la surface de l'absorbeur se traduit par une baisse des pertes thermiques qui sont proportionnelles à la surface,
- ✓ Les rendements sont par conséquent plus élevés,
- ✓ Les températures obtenues varient d'une certaine °C à plus de 4000°C en fonction du taux de concentration.

#### ▪ Les inconvénients :

- ✓ Seul le rayonnement direct est utilisé.
- ✓ Les pertes optiques peuvent être importantes, car elles sont dues aux phénomènes de réflexion ou de réfraction, et aux caractéristiques géométriques du système.
- ✓ Les pertes thermiques sont importantes à cause du niveau de température plus élevé de l'absorbeur.
- ✓ Ces capteurs nécessitent un entretien régulier et de conserver la qualité optique des miroirs soumis aux poussières et à la corrosion de l'environnement.

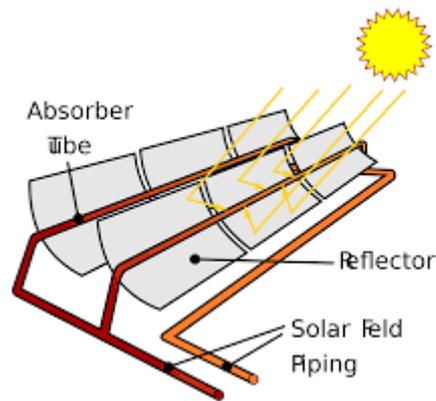


Figure. I-2 : Concentrateur cylindre-parabolique

### 1.3.2 Les capteurs solaires plans

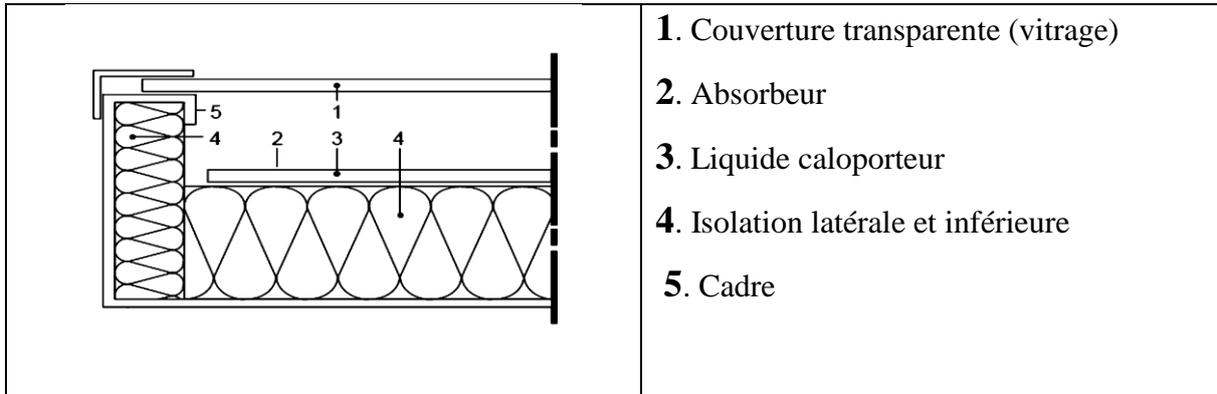
#### a. Usage

Recommandé pour une plage de températures de service de 30 à 80°C. Simple, solide, facile à mettre en œuvre, et d'un bon rapport performance/prix, c'est le type de capteur le plus utilisé pour la production d'eau chaude sanitaire et la participation au chauffage des locaux.

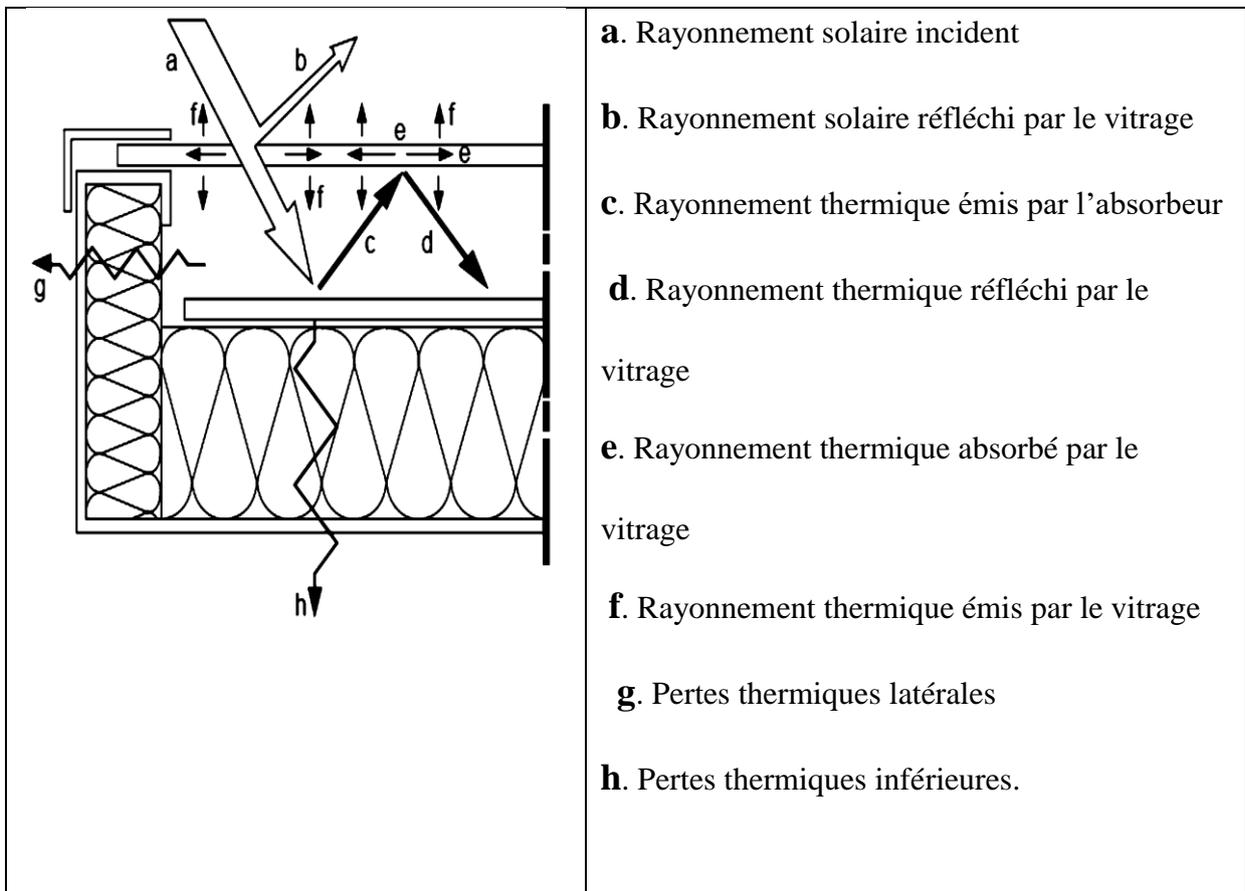
#### b. Fonctionnement (figure I 3 et 4 )

Le rayonnement solaire (a) traverse la **couverture transparente** (1) en verre ou en matière synthétique. Il frappe ensuite l'**absorbeur** (2). C'est à la surface de celui-ci que le rayonnement solaire est converti en chaleur. Un **liquide caloporteur** (3) circule dans l'absorbeur et conduit la chaleur captée vers le consommateur. Une partie de la chaleur captée retourne cependant à l'environnement du capteur et est perdue. Le capteur est construit afin de limiter au maximum ces pertes:

- La couverture transparente a la propriété de mieux laisser passer le rayonnement solaire que le rayonnement thermique (c), appelé aussi rayonnement infrarouge, émis par l'absorbeur. La chaleur est ainsi piégée dans le capteur (d) : c'est ce qu'on appelle l'effet de serre. La couverture évite de plus le refroidissement de l'absorbeur par le vent.
- L'efficacité du capteur est améliorée si l'absorbeur est revêtu d'une **couche sélective**. Ce traitement a la particularité de mieux absorber le rayonnement solaire qu'il ne réémet le rayonnement infrarouge.
- L'**isolation** (4) du cadre limite les pertes thermiques du capteur par les côtés (g) et l'arrière (h). La couverture et le **cadre** (5) protègent l'intérieur du capteur des influences néfastes de l'environnement: pluie, poussières etc.



**Figure.I-7: Composants d'un capteur solaire plan**



**Figure. I-8 : Rayonnements – Echanges thermiques d'un capteur solaire plan**

- **Avantages**

- Cout du capteur relativement bas.
- Le capteur peut être installé au sol comme il peut être aussi intégré architecturalement (toits, balcons.....).
- Il possède un degré de rendement élevé.

- **Inconvénients**

- Baisse du rendement d'utilisation en hiver à cause des pertes thermiques élevées.
- Risque de salissement de la surface de l'absorbeur par dépôt de poussière particulièrement dans les régions arides et semi arides.
- Possibilité de condensation au vitrage de capteur.

### **1.3.3 Les capteurs plans non vitrés**

#### **a. Usage**

Recommandé pour des températures de service inférieures à 40°C. Ce type de capteur pour basse température de service est particulièrement adapté au chauffage de piscine et au préchauffage de l'eau sanitaire.

#### **b. Construction – Fonctionnement (figure I-5)**

Ces capteurs sont composés d'un absorbeur nu, non isolé et non vitré. Pour le chauffage de l'eau de piscine extérieure, les matériaux les plus utilisés sont des matières synthétiques comme le polyéthylène haute densité par exemple. Ces matières plastiques permettent une circulation directe de l'eau de la piscine dans les capteurs. Le capteur fonctionne à une température proche de la température ambiante : ses pertes thermiques sont faibles et son rendement est bon. C'est pourquoi, dans ces conditions, l'isolation et le vitrage sont superflus.

Si la piscine est utilisée durant la belle saison, ce type de capteur permet de réaliser des installations efficaces et financièrement intéressantes.

Pour éviter les dégâts dus au gel, ces capteurs doivent impérativement être vidangés en hiver. Des absorbeurs en acier inoxydable avec revêtement sélectif sont aujourd'hui également utilisés pour le chauffage d'eau de piscine et le préchauffage d'eau chaude sanitaire. Le liquide caloporteur est alors un mélange antigél et le système requiert un échangeur de chaleur. Grâce à l'antigel, une vidange hivernale n'est pas nécessaire.

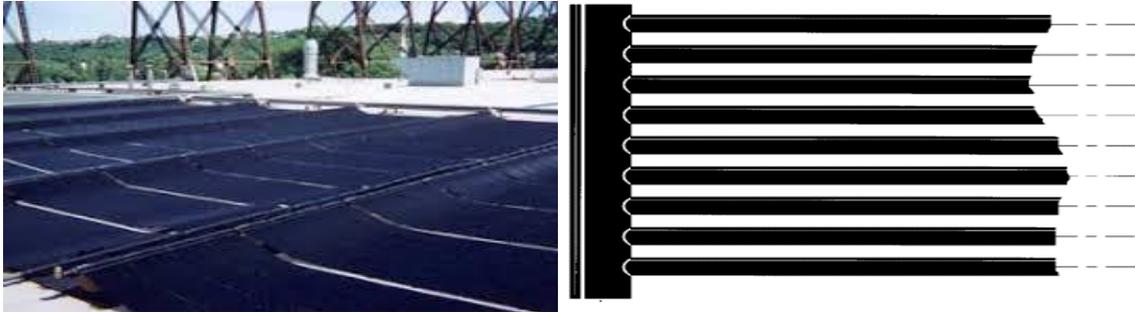


Figure.I-9 : Les capteurs solaires non vitrés

#### 1.4.4 Capteur à tubes évacués (Sans air)

##### a. Usage

Recommandé pour des températures de service supérieures à 70°C. Ses bonnes performances à haute température le destinent normalement à des applications où des températures de fonctionnement élevées sont requises : production d'eau chaude pour l'industrie etc.

##### b. Construction – Fonctionnement (figure I-6)

Ces capteurs sont composés de plusieurs tubes en verre dans lesquels sont placés les absorbeurs. Ils sont ensuite reliés en série. Le vide d'air dans les tubes réduit les pertes par convection et par conduction. Pour le reste, un tel capteur fonctionne comme un capteur plan. Ces capteurs sont d'une construction plus complexe que les capteurs plans et on veillera particulièrement à la qualité de leur exécution afin d'éviter des problèmes de maintenance ultérieure.

##### c. Implantation

Les capteurs à tubes évacués se prêtent au montage en toiture et en parapet. Certains modèles offrent l'avantage de permettre la rotation des tubes de façon à compenser une orientation ou une inclinaison défavorable. On veillera à l'implantation prévue : la neige glisse mal sur ce type de capteur et de la glace peut se former entre et sous les tubes.

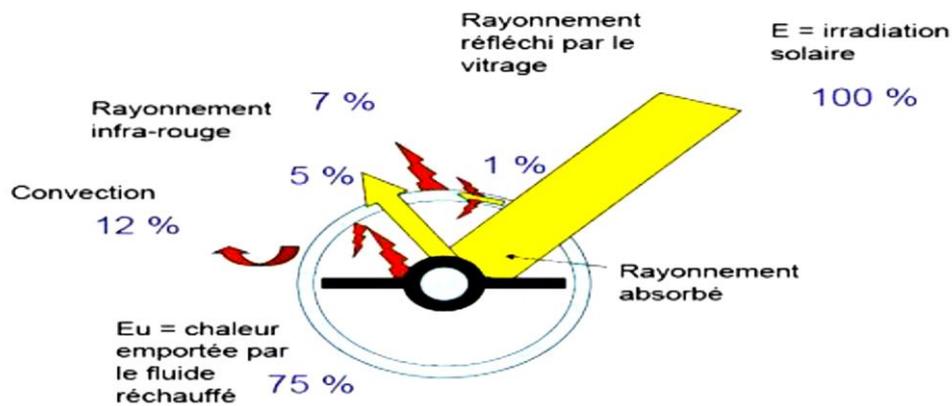


Figure.I-10 : Capteur à tubes évacués (Sans air)

### 1.4.5 Les capteurs soleil plans

Ce type de capteurs peut être intégré dans l'architecture des bâtiments, ses températures de fonctionnement correspondent aux températures de production de chauffage et d'eau chaude sanitaire lorsque les besoins sont plus importants (hôtellerie par exemple), la figure (8) montre le principe de fonctionnement de ce type.

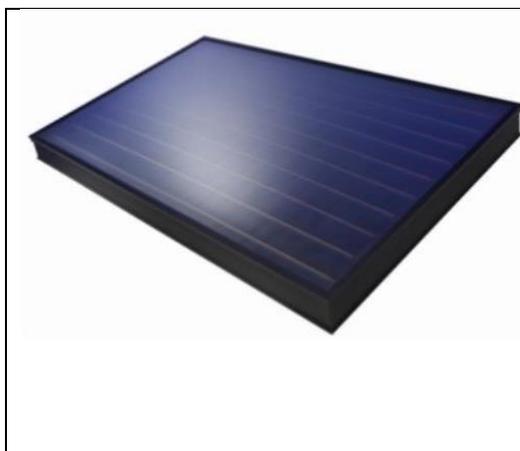


Figure.I-11 : Les capteurs plans vitrés

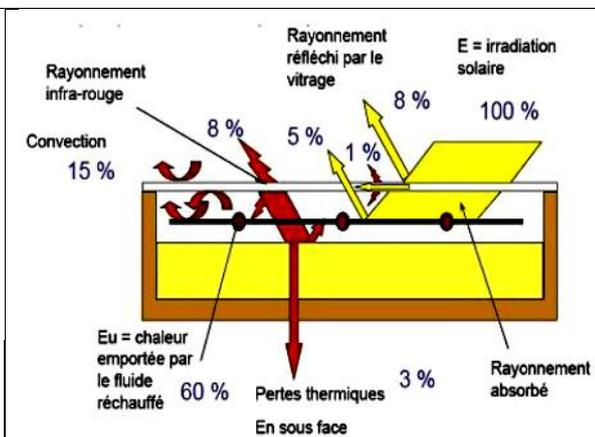


Figure. I- 12 : Principe de fonctionnement des capteurs plans vitrés

### 1.5 Définition des différentes caractéristiques des capteurs solaires

La puissance d'un capteur dépend du mode de fonctionnement. Plus la différence entre la température intérieure du capteur et la température extérieure est élevée, plus ses déperditions thermiques sont importantes. Le rendement diminue également [6].

Les capteurs sont caractérisés par :

- Leurs pertes optiques
- Leurs pertes thermiques

Ces pertes permettent par ailleurs de calculer le rendement global du capteur, pour une situation de fonctionnement donnée.

- **Les pertes optiques :**

En premier lieu, les capteurs sont caractérisés par leur rendement optique (coefficient B). Le rendement optique du capteur représente le pourcentage de la puissance radiative du soleil qui sera réellement absorbée par le capteur.

- **Les pertes thermiques :**

Lorsque le fluide caloporteur qui circule dans le capteur s'échauffe, une partie de la chaleur reçue est perdue par conduction et par convection vers l'extérieur. Ces pertes sont caractérisées par un coefficient k exprimé en  $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$ .

$$P_{th} = k \times S \times \Delta T$$

Tableau.I-1 : Coefficient de déperdition du capteur ( $W/m^2/^\circ C$ ).

Type de capteur	Valeur du coefficient k
Capteur sans vitre	Entre 20 et 25
Capteur vitré simple	Entre 4 et 6
Capteur vitré sélectif	Entre 3 et 5
Capteur sous vide	Entre 1 et 3

**Le rendement global :**

- Le rendement global d'un capteur se calcule à partir des rendements optiques et thermiques dans des conditions données de fonctionnement du capteur.
- C'est le rapport entre l'énergie récupérée et l'énergie solaire reçue par le capteur pendant le même intervalle de temps, dans des conditions données de fonctionnement stable

La méthode Française du rendement global (norme NF P50-501):

L'énergie utile est donc égale à la partie de l'énergie incidente traversant le vitrage moins les déperditions thermiques (proportionnelles à l'écart de température entre le capteur et l'ambiance).

$$\eta_g = B - \frac{K \times (T_{mf} - T_{ext})}{G}$$

Avec :

- k : coefficient de pertes thermiques en [W/m<sup>2</sup>.°C].
- B : le rendement optique.
- T<sub>mf</sub> : température moyenne du fluide caloporteur en [°C].
- T<sub>ext</sub> : température extérieure en [°C].

**1.4 Conclusion**

Nous avons présenté les différents capteurs solaires et leur rôle dans la conversion de l'énergie solaire, l'utilité et les différents composants et leurs avantages et leurs inconvénients. Il existe différents capteurs de structure plane et de niveau d'application. Ils ont le même objectif, la conversion de l'énergie solaire en énergie thermique. Ils diffèrent sur la carte caractéristique, avantages et inconvénients des différentes possibilités : le cas échéant la production d'eau de chauffe-eau solaire, bassins d'eau, de la vapeur pour la turbine à vapeur.

**CHAPITRE II : SYSTEMES SOLAIRES  
THERMIQUES PLANS**

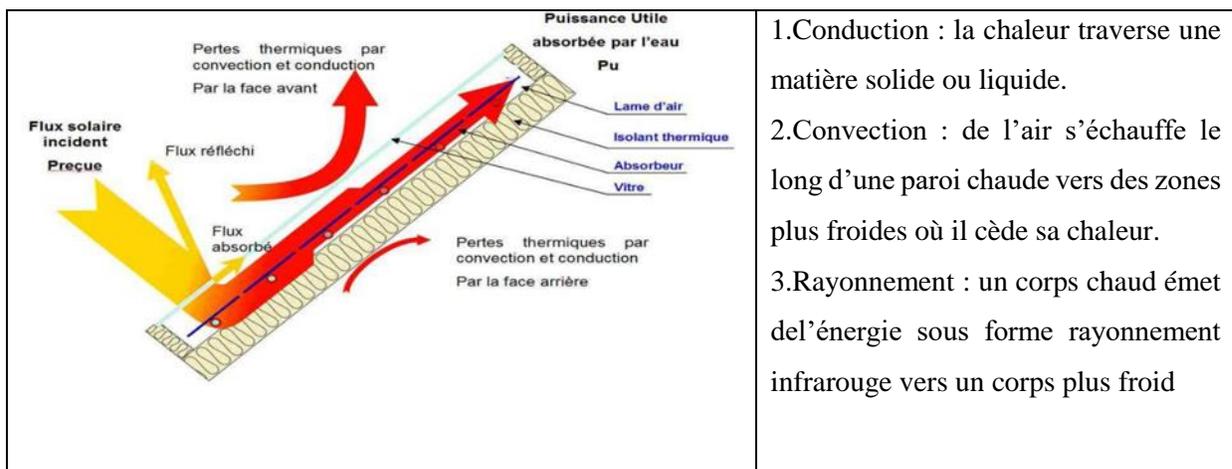
## 2.1 Composants des systèmes solaires plans

Tout système de conversion de l'énergie solaire doit comprendre les éléments suivants :

- Une surface de captation du rayonnement solaire.
- Un circuit caloporteur qui assure le transfert de l'énergie extraite du capteur à l'élément d'accumulation (stockage des calories). Les fluides utilisés généralement comme fluide caloporteur sont : l'eau et .....
- Un stockage thermique.
- Un réseau de distribution

## 2.2 Description des capteurs solaires plans[3]

Le capteur solaire constitue le lien entre l'énergie solaire incidente et le réservoir de stockage de l'énergie thermique au profit du consommateur. Le capteur transforme aussi efficacement que possible le rayonnement solaire en chaleur. Le cœur du capteur est l'absorbeur noir, qui s'échauffe sous l'effet du rayonnement solaire. Il est construit de manière à contenir un fluide dont la circulation permettra de transférer la chaleur captée vers l'utilisateur. Toute la chaleur captée ne peut être transmise au fluide caloporteur, car il y a des pertes, qui sont de trois types (Figure II-1) Pour que l'énergie captée par l'absorbeur puisse être utilisée avec un minimum de pertes, une isolation thermique judicieuse est nécessaire. Sur la face avant du capteur cette isolation aura la forme d'une couverture transparente. Sur sa face arrière on utilisera un matériau isolant classique. Le vide d'air dans les capteurs évacués peut également servir d'isolant. Le cadre sert à assembler le capteur, afin d'obtenir un ensemble solide résistant aux agents atmosphériques.

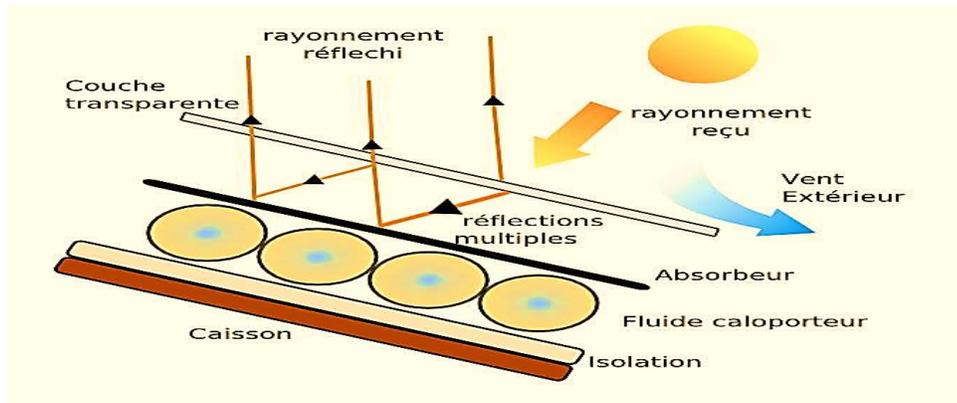


1. Conduction : la chaleur traverse une matière solide ou liquide.
2. Convection : de l'air s'échauffe le long d'une paroi chaude vers des zones plus froides où il cède sa chaleur.
3. Rayonnement : un corps chaud émet de l'énergie sous forme de rayonnement infrarouge vers un corps plus froid

Figure II-1 : Description des capteurs solaires plans

## 2.3 Les composants du capteur plan

Un capteur plan est constitué essentiellement d'une couverture transparente (vitre), d'un absorbeur, d'un fluide caloporteur, d'une isolation thermique et d'un coffre (figure II -2).



**Figure II-2 : Composants d'un capteur solaire plan**

### 2.3.1 L'absorbeur :

Dans tout capteur, l'absorbeur joue le rôle principal. Le choix du matériau et le mode de construction ont une grande influence sur la qualité du capteur.

Les absorbeurs des capteurs tant plans qu'à tube s'évacue sont en cuivre, acier ou aluminium. Les absorbeurs en cuivre et en acier sont généralement revêtus d'une couche sélective.

On distingue plusieurs modes de construction :

- ✓ L'absorbeur à ailettes
- ✓ L'absorbeur à coussin
- ✓ L'absorbeur « Roll bond »

### 2.3.2 La couche sélective de l'absorbeur

En général, un absorbeur efficace a une bonne absorptivité ainsi que sa faible émissivité. Cependant, les surfaces métalliques tendent à réfléchir la lumière d'où une perte d'énergie. Pour résoudre ce problème, les surfaces métalliques doivent être enduites d'une surface sélective qui d'une part absorbe le rayonnement solaire de courtes longueurs d'onde avec un rendement élevé et le transforme en I.R par l'effet de décalage de Wien et qui, d'autre part ne perd que très peu d'énergie grâce à son état de surface qui agit comme un piège vis-à-vis du I.R ( $\epsilon < 0.15$ ,  $\alpha > 0.9$ ).

Cette surface n'est considérée comme surface noire que pour la lumière solaire, pour les I.R elle agit comme un miroir.[7]

### **2.3.2 La couverture transparente**

Pour cette couverture on utilise principalement du verre sécurisé résistant aux chocs et contraintes mécaniques (grêle, neige) et aux chocs thermiques (brusque refroidissement en cas d'orage). Ce verre est de préférence pauvre en oxyde de fer et de ce fait est très transparent à l'entrée du rayonnement solaire. Dans le cas de capteurs intégrés en toiture on utilise aussi parfois des matières synthétiques. Les avantages du verre sont sa bonne résistance au vieillissement (principalement par les rayons UV) et sa bonne résistance mécanique. Les couvertures en matière synthétique sont moins durables. Elles sont par contre plus légères, moins chères et plus facile à mettre en œuvre. La plupart du temps le vitrage est légèrement structuré et disperse la fraction réfléchi du rayonnement solaire incident, afin de diminuer l'éblouissement éventuel.

On distingue les capteurs avec un seul vitrage et revêtement sélectif de l'absorbeur, et ceux avec deux vitrages mais sans revêtement sélectif de l'absorbeur. Les capteurs plans à vide d'air partiel appartiennent à la première catégorie ; le vide partiel sert d'isolant : il réduit les pertes par convection à l'intérieur du capteur.

### **2.3.3 L'isolation thermique**

Les matières isolantes utilisées dans la construction des capteurs sont soit des laines minérales, soit des matières synthétiques. L'isolation doit être imputrescible et résister aux hautes températures à l'intérieur du capteur. Une isolation de ce type est inutile dans le cas des capteurs à tubes évacués puisque c'est le vide d'air dans les tubes qui crée l'effet isolant.

### **2.3.4 Le cadre**

Le cadre doit résister aux agressions des conditions extérieures, aux contraintes intérieures et aux chocs éventuels lors du transport et du montage. Il doit donc être solide, tout en étant le plus léger possible. Le cadre du capteur est en aluminium ou en acier. Le cadre des capteurs intégrés en toiture est protégé des intempéries et peut ainsi être valablement réalisé en bois.

### 2.3.5 Le fluide caloporteur

Le fluide de travail est chargé de transporter la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température. Il est choisi en fonction de ses propriétés physiques et chimiques, il doit posséder une conductivité thermique élevée, une faible viscosité et une capacité calorifique élevée. Dans le cas

des capteurs plans, on utilise de l'eau à laquelle on ajoute un antigel (généralement de l'éthylène glycol).

### 2.4 Paramètres et caractéristiques le fonctionnement d'un capteur[8]

Les paramètres caractérisant le fonctionnement d'un capteur plan peuvent être classés en deux catégories : les paramètres externes et les paramètres internes.

#### ➤ Les paramètres externes

Les principaux paramètres externes qui peuvent intervenir directement sur les performances d'un capteur plan sont :

- Paramètre d'ensoleillement : le rayonnement solaire, position du soleil, durée d'insolation, état du ciel ...etc.
- Température ambiante
- Vitesse du vent

#### ➤ Les paramètres internes

Paramètres géométriques :

- Les paramètres de position : angle d'inclinaison, orientation du capteur.
- La surface du capteur (longueur et largeur)
- Les dimensions de différents éléments : épaisseur

Paramètres de fonctionnement :

- La température d'entrée du fluide caloporteur
- Le débit massique et la nature du fluide caloporteur
- Les températures des différents éléments du capteur

Ces paramètres sont très importants. Ils permettent, en tenant compte du coût, d'avoir une température de sortie du fluide élevée (puissance utile élevée). En d'autres termes; un meilleur rendement du capteur.

## **2.5 Conclusion**

Le capteur solaire est sélectionné en fonction des exigences solaires en fonction des caractéristiques du capteur, en particulier des dimensions du capteur et de la capacité d'absorption du capteur solaire. Absorbeur, surface et angle d'inclinaison, caractéristiques du capteur de débit interne, qualité du fluide et autres matériaux offrant les meilleures performances aux prix les plus bas.

### 3.1 Introduction et objectifs

Ce qui détermine la possibilité de consommation d'énergie solaire est la performance du capteur solaire à partir de laquelle nous déterminons la possibilité d'attribution à l'utilisation. Une meilleure compréhension des mécanismes de base régissant le bon fonctionnement du capteur permet, d'une part, de contrôler tous les paramètres externes ou intrinsèques impliqués dans le processus de transfert et de connaître ensuite la base sur laquelle on peut travailler pour améliorer l'efficacité du capteur solaire. Adaptez ce qui est requis avec la fonction ou l'application souhaitée. Dans la suite, la partie énergie des capteurs solaires sera traitée.

### 3.2 Le rayonnement solaire

Les réactions thermonucléaires engendrées au cœur du soleil produisant des rayonnements corpusculaires et électromagnétiques se répandant dans toutes les directions du vide intersidéral avec une vitesse de  $3.10^8$  m/s et englobant toutes les longueurs d'ondes depuis les rayons X et gamma jusqu'à l'I.R lointain. Quoique, 99,9 % de l'énergie se situe entre 0,2 et  $8\mu\text{m}$  Figure.III-1 [9].

On pourra admettre avec une estimation acceptable que le soleil rayonne comme un corps noir avec une température de 5777K dite température apparente du soleil [10].

La distribution de l'énergie solaire dans les bandes du spectre du rayonnement thermique est récapitulée dans le tableau 1 suivant :

**Tableau.III-1 Répartition spectrale du rayonnement thermique[11]**

Type de rayonnement	UV	Visible	IR
Longueur d'onde ( $\mu\text{m}$ )	0-0,38	0,38-0,78	0.78- 10
Pourcentage (%)	6,4	48	45,6
Energie ( $\text{w}/\text{m}^2$ )	87	656	623

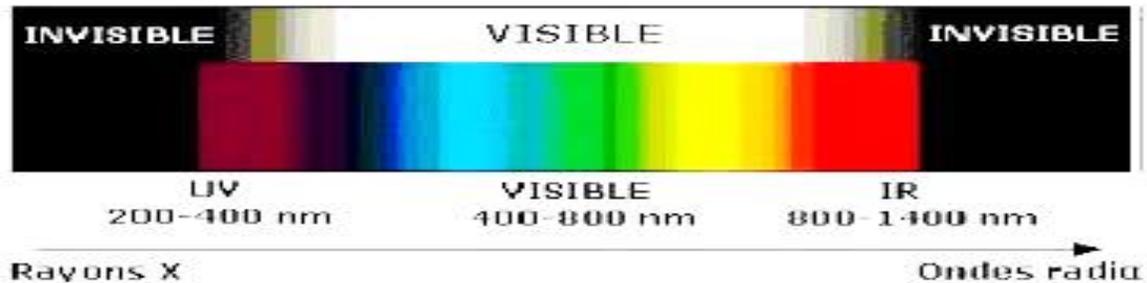


Figure.III-1 Le spectre solaire [12]

Le rayonnement solaire hors atmosphère est caractérisé par la constante solaire. Cette dernière est la puissance reçue par unité de surface perpendiculaire aux rayons solaires en dehors de l'atmosphère terrestre. Sa valeur approximative est égale à 1367 w/m<sup>2</sup> (la valeur adoptée pour notre étude). Suivant les variations de la distance terre soleil ( $\pm 3,4\%$ ), elle varie cependant légèrement au cours de l'année. Elle passe par un maximum en janvier (environ 1413 w/m<sup>2</sup>) et un minimum en juin (environ 1321 w/m<sup>2</sup>)[11].

Ainsi, le calcul du flux du rayonnement solaire  $I$  reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires est assuré par la relation suivante [13]:

$$I = I_0 \cdot \exp \left[ 1 + 0,033 \cos \frac{360j}{365} \right] \quad \dots \text{(III .1)}$$

Avec  $\exp(1 + 0,033 \cdot \cos (. j))$  correspond à la correction de la constante solaire

$I_0$  : La valeur moyenne de la constante solaire actuellement retenue (1367 w/m<sup>2</sup>)

$j$ : Le numéro du jour de l'année ( $j = 1$  pour le 1er janvier) L'évolution annuelle est représentée par la figure III-2 suivante

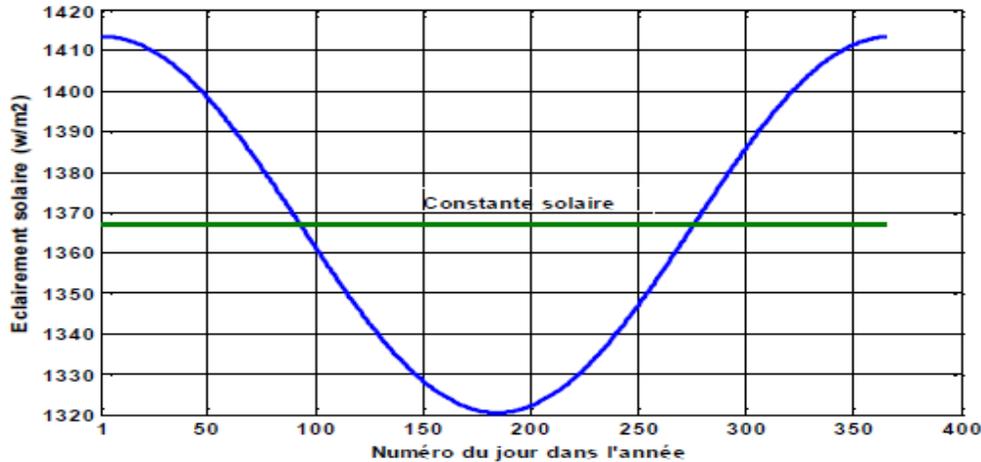


Figure.III-2: Variation annuelle de la constante solaire

### 3.2.1 Irradiation journalière sur un plan incliné

Dans le cas où le plan est incliné d'un angle  $\beta$  par rapport à l'horizontale et orienté d'un angle  $\alpha$  par rapport au Sud, alors, l'éclairement extraterrestre sur un plan d'inclinaison et d'orientation données, est comme suit :

$$I_i^* = I \cdot \cos i \quad \dots \text{(III .2)}$$

Pour un plan orienté en plein Sud ( $\alpha = 0$ ), l'éclairement extraterrestre est obtenu par la relation suivante :

$$I_i^* = I \cdot [\sin \delta \cdot \sin(\varphi - \beta) + \cos \delta \cdot \cos(\varphi - \beta)] \quad \dots \text{(III .3)}$$

L'irradiation journalière sur un plan incliné orienté plein Sud correspond à l'intégration de l'éclairement reçu par un plan incliné orienté plein Sud du lever au coucher du soleil ce qui se traduit par :

$$I_i = \int_{I_s}^{C_s} I_i^* dt \quad \dots \text{(III .4)}$$

Ainsi,

$$I_i = 24 \pi I \cdot (\sin \delta \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \omega'_L + \cos \delta \cdot \cos(\varphi - \beta) \cdot \sin \omega'_L) \quad \dots \text{(III .5)}$$

Avec

$$\omega'_L = (-\tan \delta \cdot \tan(\varphi - \beta)) \quad \dots \text{(III .6)}$$

### 3.2.2 Atténuation du rayonnement solaire par l'atmosphère[14]

L'énergie solaire est atténuée par différents composants atmosphériques comme les molécules d'air, les aérosols, les gaz, les gouttelettes d'eau nuageuses ou les cristaux de glace en suspension dans l'atmosphère. Les molécules d'air diffusent le rayonnement (diffusion de Rayleigh), et absorbent une partie de ce rayonnement, alors que les particules d'aérosols diffusent principalement le rayonnement solaire à travers l'atmosphère.

Les propriétés de diffusion et d'absorption dépendent des compositions chimiques de l'atmosphère, des propriétés physiques des particules solides en suspension dans l'atmosphère et de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère. La vapeur d'eau, l'ozone, le dioxyde de carbone et l'oxygène sont les importants gaz absorbants du rayonnement solaire. L'absorption de l'ozone se produit dans les domaines du visible et de l'ultraviolet du spectre solaire, alors que la grande partie de la bande d'absorption de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone se produit dans les domaines spectraux du proche infrarouge et rouge. Par ailleurs, l'oxygène se caractérise par de petites bandes d'absorption dans le spectre visible.

On retrouve l'influence de ces composants atmosphériques sur la distribution spectrale du rayonnement solaire direct et diffus, comme on peut le constater sur la figure.II-3.

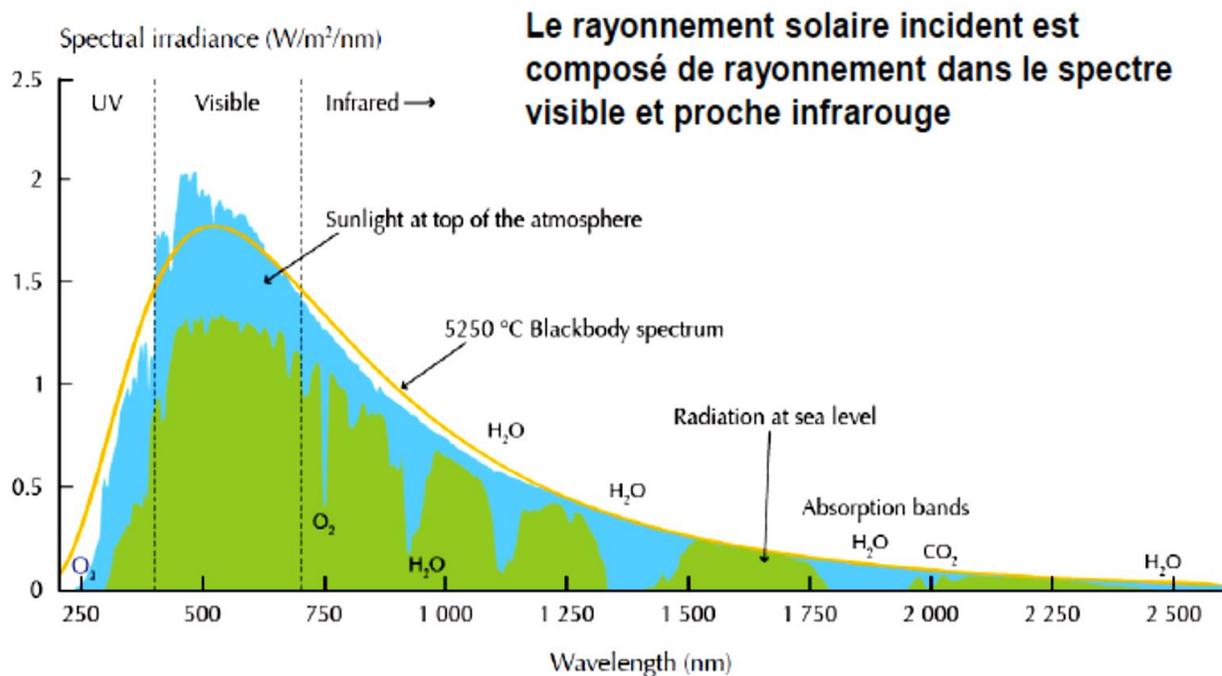


Figure. III -3 Spectre du rayonnement solaire[15]

### 3.2.3 Rayonnement solaire reçu au niveau du sol

L'énergie solaire représentée par la constante solaire moyenne à l'entrée de l'atmosphère ( $C_s \approx 1367 \text{ W/m}^2$ ) subit une altération à sa traversée de l'atmosphère, seulement une partie de cette énergie arrive au sol sous différentes formes. Ainsi, on définit :

#### a) -La composante directe

Le rayonnement direct ou la composante directe du rayonnement solaire est celui incident sur un plan quelconque en provenant d'un angle solide autour du disque solaire. Il parvient en ligne droit et par temps clair.

#### b) La composante diffuse

C'est la composante du rayonnement solaire incidente sur un plan récepteur après avoir été diffusée par les nuages, les poussières, les aérosols et le sol et subissant le phénomène de multi-réflexions. Elle parvient ainsi de toute la voûte céleste.

#### c) Le rayonnement global

Le rayonnement global correspond à la somme des deux composantes du rayonnement solaire définies précédemment à savoir la composante directe et diffuse. Comme le montre la Figure.III-4. [16].

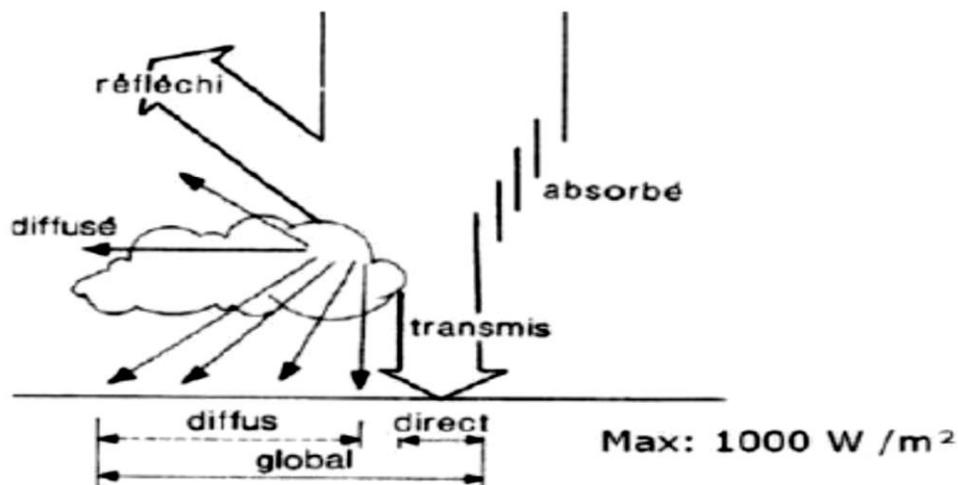


Figure.III-4: Rayonnement direct, diffus et global[12]

### 3.3 Transfert thermique dans les capteurs solaires

Les systèmes solaires mettent en jeu simultanément les trois modes de transfert thermique, la convection, le rayonnement et la conduction. L'existence d'un écart de température entre deux points du système, fait intervenir un échange d'énergie ou « transfert de chaleur » même à travers un vide.

#### 3.3.1 Transfert de chaleur par conduction

L'équation de conduction de chaleur en tout point d'un matériau du capteur traduit le mécanisme local du transfert, elle lie les grandeurs suivantes : la température T, le temps t et les coordonnées de l'espace (x,y,z). L'équation de la chaleur unidimensionnelle est donnée par :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = -\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \dots \text{(III .7)}$$

Où « $\alpha$ » est la diffusivité thermique du matériau.

D'après l'hypothèse de FOURIER; liant linéairement la densité du flux thermique à travers le matériau et le gradient de température T. En tout point d'un milieu isotrope, la densité du flux thermique instantanée est proportionnelle à la conductivité thermique  $\lambda$  du milieu et au gradient de température.

$$\vec{q} = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}} (T) \dots \text{(III .8)}$$

Le flux de chaleur transmis par conduction est

$$\vec{\varphi} = \vec{q} \cdot \mathbf{S} = -\lambda \mathbf{S} \frac{\partial T}{\partial x} \dots \text{(III .9)}$$

Avec :  $\varphi(\text{w})$  et  $\mathbf{S}$  (m<sup>2</sup>) Aire de la section de passage du flux de chaleur.[17]

#### 3.3.2 Transfert de chaleur par convection

Le transfert de chaleur par convection s'effectue dans les milieux fluides, plus précisément dans les échanges thermiques entre une paroi solide et un fluide en mouvement.

Suivant la nature du mécanisme qui provoque le mouvement du fluide on distingue :

- La convection naturelle (libre) : ou le mouvement du fluide est dû à l'action simultanée des différences des températures qui existe dans le milieu et d'un champ de forces massiques .
- La convection forcée : ou le mouvement du fluide est induit par un moyen mécanique (pompes, ventilateur, etc...).[18]

### a) Régime d'écoulement

- En régime laminaire, l'écoulement s'effectue par couches pratiquement indépendantes entre deux filets de fluides adjacents.
- En régime turbulent, l'écoulement n'est pas unidirectionnel : L'échange de chaleur dans la zone turbulente s'effectue par convection et conduction dans toutes les directions. La chaleur transférée par conduction est généralement négligeable par rapport à celle transférée par convection.[19]

### b) Expression du flux de chaleur

Pour un écoulement de surface  $S$  ayant une température  $T$  le flux de chaleur s'écrit :

$$\phi = h S (T - T_f) \quad \dots \text{(III .10)}$$

$h$  est le coefficient d'échange par convection. ( $W/m^2 C^\circ$ )

$T - T_f$  : Différence de température entre la paroi et le fluide.[20]

#### • En convection naturelle

Dans le cas de la convection naturelle le flux est une fonction des caractéristiques du fluide ; de la longueur de la paroi et l'écart de la température.[21]

En introduisant l'analyse adimensionnelle on déduit une relation entre trois nombres :

$$Nu = \frac{hD}{\lambda} \quad \text{Nombre de Nusselt}$$

$$Gr = \frac{\beta g \Delta T \rho^2 L^3}{\mu^2} \quad \text{Nombre de Grashof}$$

$$Pr = \frac{\mu C_p}{\lambda} \quad \text{Nombre de Prandtl}$$

Le calcul de flux de chaleur transmis par convection naturelle suit les étapes suivantes :

1. Calcul des nombres adimensionnels  $Gr$  et  $Pr$
2. Suivant la valeur du nombre de  $Gr$  ou de  $Pr$  on choisit de la corrélation correspondante
3. Calcul du nombre de  $Nu$  en appliquant la corrélation choisie
4. Calcul du coefficient d'échange par convection  $h$  ;  $h = Nu \lambda/D$
5. Calcul du flux transmis  $\phi$  ;  $\phi = h S (T_p - T_\infty)$

#### • En convection forcée

Dans le cas de la convection forcée la relation liant le flux de chaleur transféré aux différents variables peut être simplifiée à la forme d'une relation entre trois nombre adimensionnels [22]:

$$Nu = f(Re, Pr) \quad \dots \text{(III .11)}$$

Avec  $Re =$  le nombre de Reynolds

Le calcul de flux de chaleur transmis par convection forcée suit les étapes suivantes :

1. Calcul des nombres adimensionnels  $Re$  et  $Pr$

2. Suivant la valeur du nombre de Reynolds  $Re$  on fait le choix de la corrélation correspondante

3. Calcul du nombre  $Nu$  en appliquant la corrélation choisie

4. Calcul du coefficient  $h$   $h = Nu \lambda / D$

5. Calcul du flux transmis  $\phi$   $\phi = h S (T_p - T_\infty)$

Ou  $T_f = \frac{T_p + T_\infty}{2}$

Selon le cas envisagé, les différentes corrélations pour le calcul du nombre de Nusselt ( $Nu$ ) sont présentées dans la référence [2]

### 3.3.3 Transfert de chaleur par rayonnement

La transmission thermique entre deux corps à distance à travers un milieu transparent ou semi-transparent. Ou émission de quantités d'énergie «photons »; ceux-ci se déplaçant à la vitesse de la lumière, par des ondes électromagnétiques dont la longueur d'ondes couvre le spectre ultraviolet (longueur d'onde de 10 à 400nm) dominé par le rayonnement solaire, au-delà le rayonnement est surtout d'origine terrestre, le spectre visible (longueur d'onde 400 à 800nm) et le spectre infrarouge (longueur d'onde 800nm à 0,1mm) et aussi les rayons X,  $\gamma$ , cosmiques...

La densité du flux thermique (rayonnement) émis par une surface dont la température est  $T$ , est donné par la loi de Stéphane Boltzmann.[23]

$$Q = \epsilon \sigma T^4 \dots \text{(III .12)}$$

$Q$  : densité de flux de chaleur radiatif transmis, ( $W/m^2$ ).

$\sigma$  : Constante de Stefan : ( $5,67.10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$ )

$\epsilon$  : Facteur d'émission de la surface

$T$  : Température de la surface

### 3.4 Les différentes pertes thermiques dans un capteur solaire

#### 3.4.1 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 III -5.

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.

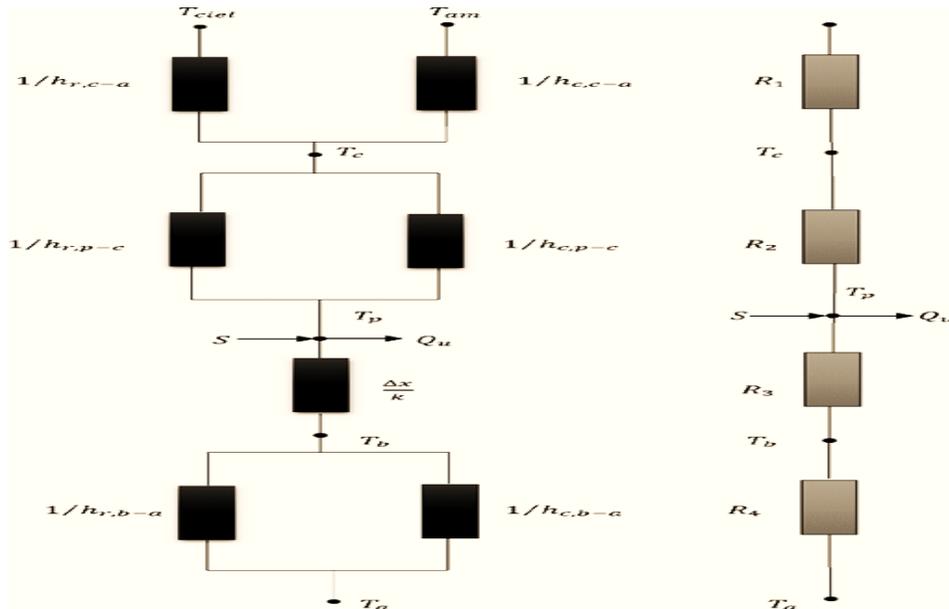


Figure III -5 Circuit électrique équivalent relatif à un capteur solaire plan

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.

### 3.4.1.1 Pertes à l'avant du capteur

- Echange de chaleur entre la vitre et le milieu extérieur

Comme le montre la figure (18), les pertes entre la vitre et le milieu extérieur sont dues essentiellement au transfert de chaleur par convection et par rayonnement.

$$Q_{p,av1} = (h_{c,c-am} + h_{r,c-ciel})(T_c - T_{am}) \quad \dots \text{ (III .13)}$$

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

$$h_{r,c-ciel} = \frac{\sigma \varepsilon_c (T_c^4 - T_{ciel}^4)}{T_c - T_{am}} \quad \dots \text{ (III .14)}$$

Avec  $T_{ciel} = 0.0552T_{1.5}$

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

$$h_{c,c-} = 5.67 + 3.86V_{vent} \quad \dots \text{ (III .15)}$$

$V_{vent}$  : vitesse du vent

Cela nous permet d'écrire l'équation suivante:

$$Q_{p,v1} = h_{c,c-} (T_c - T_{am}) + (T_c^4 - T_{ciel}^4) \quad \dots \text{ (III .16)}$$

Ainsi on définit la résistance équivalente entre le vitrage et le milieu ambient  $R1$  qui est alors donnée par :

$$R1 = \frac{1}{h_{c,c-a} + h_{r,c-ciel}} \quad \dots \text{ (III .17)}$$

- 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.

$$Q_{p,2} = (h_{c,p-c} + h_{r,p-c})(T_p - T_c) \quad \dots \text{ (III .18)}$$

Ou :

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

$$h_{r,p-c} = \frac{\sigma(T_p + T_c)(T_p^2 + T_c^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad \dots \text{ (III .19)}$$

$\varepsilon_c$ : Emissivité du verre ;

$\varepsilon_p$ : Emissivité de l'absorbeur ;

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

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

$$Nu = 1 + 1.44 \left[ 1 - \frac{1708 (\sin 1.8 \beta)^{1.6}}{Ra} \right] \left[ 1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right] + \left[ \left( \frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] \dots \text{(III .20)}$$

$\beta$  : étant l'angle d'incidence du capteur,

$Ra$  : le nombre de Rayleight.

$$Ra = \frac{g (T_p - T_c) L^3}{T_m \nu_a \rho_a \alpha_a} \dots \text{(III .21)}$$

$L_c$  : 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 :

$$T_{ma} = \frac{T_p + T_c}{2} \dots \text{(III .22)}$$

Elle permet d'évaluer les caractéristiques de l'air ( $\rho_a$ ,  $C_p a$ ).

$\nu_a$  : la viscosité cinématique de l'air,  $\nu_a = \frac{\mu_a}{\rho_a}$

$\alpha$  : la diffusivité thermique de l'air  $\alpha = \frac{\lambda_a}{\rho_a C_p a}$

$$Nu = \frac{h_{c,p-c} L_c}{\lambda_a} \dots \text{(III .23)}$$

D'où on tire le coefficient de convection

$$h_{c,p-c} = Nu \frac{\lambda_a}{L_c} \dots \text{(III .24)}$$

La résistance  $R_2$  peut être écrite :

$$R_2 = R_2 = \frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} \dots \text{(III .25)}$$

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

$$U_{av} = \frac{1}{R_1 + R_2} \dots \text{(III .26)}$$

### 3.4.1.2 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 [9], donc les pertes à l'arrière du capteur sont données par la formule suivante :

$$Q_{p,ar} = \frac{(T_p - T_{is})}{\frac{e_{is}}{\lambda_{is}}} \dots \text{(III .27)}$$

Ainsi, à partir on peut ainsi définir le coefficient de pertes arrières  $U_{artel}$  que :

$$U_{ar} = \frac{1}{R_4} = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \dots \text{(III .28)}$$

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

### 3.4.1.3 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 :

$$Q_{p,lat} = \frac{(T_p - T_{is})}{\frac{e_{islat}}{\lambda_{is}} \cdot \frac{A_c}{A_{lat}}} \text{(III .29)}$$

$A_c$ : 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  $U_{latel}$  que :

$$U_{lat} = U_{lat} = \frac{\lambda_{is}}{e_{islat}} \frac{A_{lat}}{A_c} \dots \text{(III .30)}$$

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  $U_L$  :

$$U_L = U_{av} + U_{ar} + U_{lat} \dots \text{(III .31)}$$

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

$$Q_p = U_L(T_{pm} - T_{am}) \dots \text{(III .32)}$$

Obtient l'expression de l'énergie utile suivante :

$$Q_u = \tau_c \alpha_p G t - U_L (T_{pm} - T_{am}) \quad \dots \text{(III .33)}$$

### 3.5 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 :

$$Q_{sa} = Q_u + Q_p + Q_{st} \quad \dots \text{(III .34)}$$

à l'état stable d'un capteur à inertie douce (composants spécifiques de faible masse) rendent le capteur de débit tampon petit  $Q_{st} = 0$ , d'où :

$$Q_{sa} = Q_u + Q_p \quad \dots \text{(III .35)}$$

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

$$Q_{sa} = \tau_c \alpha_p G \text{ (III .35)}$$

$\tau_c$  : Facteur de transmission de la couverture transparente,

$\alpha_p$  : Facteur d'absorption de la plaque absorbante,

$G$  : L'éclairement global incident sur le capteur

### Puissances absorbées par un capteur solaire plan

On a deux paramètres essentiels qui influent sur la puissance absorbée par un capteur solaire plan

### Le coefficient d'incidence :

Le coefficient d'incidence (CI) est l'angle formé par le rayonnement solaire avec la perpendiculaire d'une surface. Ce coefficient est défini d'une part par la hauteur du soleil (h) et son azimut (a) et d'autre part par l'orientation (o) et l'inclinaison (i) du plan récepteur. Ainsi, chaque plan récepteur peut être défini par un couple de valeurs, soit (o, i). L'orientation est négative vers l'est et positive vers l'ouest, elle peut être indiquée par une direction géographique comme par exemple nord-nord-est (voir la rose d'orientation ci-dessous). Quant à l'inclinaison, elle est égale à 0° pour un plan horizontal et 90° pour un plan vertical. Si le coefficient d'incidence est négatif, la surface du plan considéré ne reçoit pas de rayon solaire direct, s'il est égal à 0 les rayons sont rasants.

$$CI = \text{Sin}(i) \times \text{Cos}(h) \times \text{Cos}(o - a) + \text{Cos}(i) \times \text{Sin}(h) \quad \dots (III .36)$$

### 2-Les orientations :

Rose d'orientation. En traits gras, les orientations qui sont les plus favorables pour l'hémisphère Nord de la terre Figure III-6 :

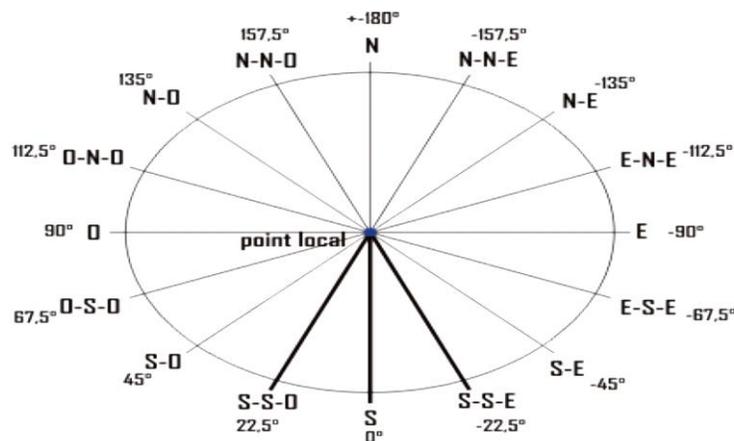


Figure III-6 : Rose d'orientation

### - La puissance absorbée par la vitre

$$P_v = a_v \times G \times A_v \dots \dots (III .37)$$

Où :

$P_v$  : puissance absorbée par la vitre.

$\alpha_v$ : absorptivité de la vitre.

$A_v$  : surface de la vitre.

$G$  : Flux solaire incident en ( $w/m^2$ ).

### - Puissance énergie absorbée par l'absorbeur

$$P_{ab} = \alpha_{ab} \times \tau_v \times G \times A_{ab} \quad \dots \text{(III .38)}$$

$P_{ab}$  : puissance absorbée par l'absorbeur.

$G$  : Flux solaire incident en ( $w/m^2$ ).

$A_{ab}$  : surface de l'absorbeur.

$\alpha_{ab}$  : absorptivité de l'absorbeur.

$\tau_v$  : transmissivité de la vitre.

### 3.5.1 Rendement du capteur

Le rendement d'un capteur solaire plan est de deux types :

#### 3.5.1.1 Rendement optique :

Le rendement optique quantifie les capacités du duo vitre-absorbeur à capter l'énergie vis à vis de l'énergie incidente. Il est défini par : (Flux absorbé par la surface du capteur) / (Flux incident sur le capteur)  $\eta_0$  Soit :

$$\eta_0 = \tau_v \cdot \alpha_p \quad \dots \text{(III .39)}$$

$\tau_v$ : Le facteur de transmission de la couverture transparente (vitrage) chargée de créer l'effet de serre.

$\alpha_p$ : Facteur d'absorption du capteur.

$G$  : Flux solaire incident ; reçu par le capteur en [ $W/m^2$ ].

Le rendement optique pour différents types de capteurs

-capteur plan 75-85 %                      -tube sous vide à absorbeur sur cuivre 75-85 %

-capteur non vitré 90-95 %                -tube sous vide à absorbeur sur verre 50-70 %

De la physique optique on sait que  $\tau$ ,  $\alpha$  et  $\rho$  (réflexion) pour un matériau donné, sont fonction de l'angle d'incidence  $i$  du rayonnement et de sa longueur d'onde  $\lambda$ ; ce qui nous suggère que se

rendement et variable en fonction de la position du soleil dans le ciel, or la hauteur du soleil dans le ciel est fonction du temps, ce rendement requière ainsi un caractère temporel la relation est :

Considérons une radiation lumineuse (figure19) incidente sur un ensemble optique

une partie de cette radiation est réfléchié, une partie est absorbée et une partie est transmise

-le facteur de réflexion  $\rho = ( I_r / I )$ .

-le facteur d'absorption  $\alpha = ( I_a / I )$ .

-le facteur de transmission  $\tau = ( I_t / I )$ .

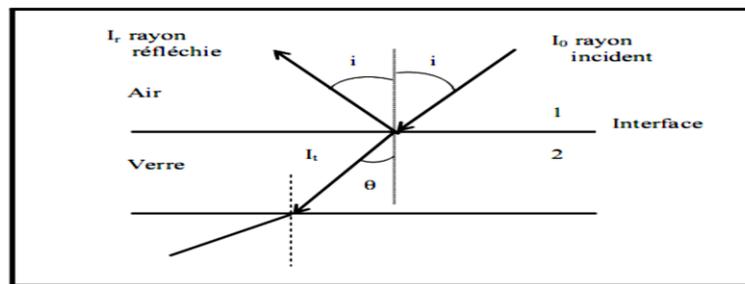


Figure III-7 : Le flux absorbé par la vitre.

On voit que :

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad \dots \text{(III .39)}$$

Désignant par  $n_1$  et  $n_2$  les indices de réfraction de deux milieux le rayonnement solaire ( $I$ ) Frappant l'interface d'une surface vitrée à un angle d'incidence ( $i$ ) sera partiellement réfracté ( $I_t$ ) avec un angle ( $\theta$ ) et partiellement réfléchi ( $I_r$ ) avec un angle ( $i$ ) telle que montrés dans la figure19. Le pouvoir réflecteur  $r$  d'une surface plane entre l'air et le matériau est donné par la relation suivante [26 ]:

$$r = \frac{1}{2} \left[ \frac{\sin 2(\theta - i)}{\sin 2(\theta + i)} + \frac{\tan 2(\theta - i)}{\tan 2(\theta + i)} \right] \quad \dots \text{(III .40)}$$

-  $r$  : le pouvoir réflecteur du verre .

-  $i$  : angle d'incidence (degré).

-  $\theta$  : angle réfraction (degré). La loi de Descartes donne:

$$\theta = \text{Arc sin}[\sin(i)] \dots (\text{III .41})$$

Pour une lame de verre d'épaisseur " ev ", les coefficients d'absorption, de transmission et de réflexion du au rayonnement direct sont donnés par les relations suivantes :

a) le coefficient d'absorption (  $\alpha_{v-dir}$  ) est donné par :

$$\alpha_{v-dir} = 1 - \tau_{dir} - \rho_{dir} \dots (\text{III .42})$$

b) le coefficient de transmission (  $\tau_d$  ) est donné par :

On pose:

$$\tau_{dir} = T_{ab} \cdot \left( \frac{1-r}{1+r} \right) \dots (\text{III .43})$$

$$Tr = \left( \frac{1-r}{1+r} \right) \dots (\text{III .44})$$

On aura:

$$\tau_{dir} = Tr \times T_{abs} \dots (\text{III .45})$$

Avec :

- Tr : représente la transmission due à la réflexion.
- T<sub>abs</sub> : représente le coefficient de l'absorption, il est donné par la relation suivante (loi de Lambert Bougue) :

$$T_{abs} = \exp \left( \frac{-k \cdot ev}{\cos \theta} \right) \dots (\text{III .46})$$

Ou :

- k : coefficient d'extinction du verre (l'indice d'absorption) ( m<sup>-1</sup>).
- ev : épaisseur de la couverture ( m ).

-  $\theta$  : angle de réfraction ( en degré ).

c) le coefficient de réflexion (  $\rho_{dir}$  ):

il est donné par :

$$\rho_{dir} = r + \frac{((1-r)^2 T_{abs}^2 r)}{1 - (r T_{abs})^2} \dots (\text{III .47})$$

Les valeurs adoptées sont  $\tau(i=60^\circ)$ ,  $\alpha(i=60^\circ)$  et  $\rho(i=60^\circ)$  vu qu'elles représentent une bonne moyenne; ce qui a été vérifié par l'expérimentation.

### 3.5.1.2 Rendement Thermique (Ou Instantané) :

Le rendement instantané mesure le rapport de la puissance utile extraite par  $m^2$  à la puissance incidente sur le capteur à chaque instant; soit :

$$\eta = \frac{P_u}{G A_c} \quad \dots \text{(III .48)}$$

G : Flux solaire incident ; reçu par le capteur en [W/m<sup>2</sup>]

A<sub>c</sub> : Surface du capteur, exposée au rayonnement en [m<sup>2</sup>].

P<sub>u</sub> : La puissance utile.

\* Le rendement instantané du capteur en fonction du débit massique est donné par [12]:

$$\eta_0 = \dot{m} \cdot c_p \cdot \frac{T_{fs} - T_{fe}}{A_c \cdot G} \quad \dots \text{(III .49)}$$

$\dot{m}$  : débit massique du fluide caloporteur

C<sub>p</sub> : chaleur spécifique de l'eau.

T<sub>fs</sub> : température de sortie du fluide.

T<sub>fe</sub> : température d'entrée du fluide.

A<sub>c</sub> : surface du capteur solaire.

G : flux solaire global incident.

***Chapitre IV : Résultats et discussions***

### 4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous étudions l'effet des paramètres externes et internes sur les performances du capteur solaire plan dans le site de Ouargla. Nous utilisons à cet effet le programme Meteonorm et le logiciel Trnsys. On se servira des résultats de l'étude expérimentale sur l'étude des performances des capteurs solaire de travaux de recherches réalisés à l'Université de Ouargla.

### 4.2 Présentation générale du lieu (Ouargla)

La ville de Ouargla est le chef-lieu de la troisième plus grande wilaya d'Algérie en superficie, elle est située au sud-est Algérien, au fond d'une cuvette très large de la vallée de L'OUED M'YA. Elle couvre une superficie totale de 163233 km<sup>2</sup>. Elle se trouve à une altitude de 141 mètres[24].

Le climat de la wilaya de Ouargla est du type Saharien, il se caractérise par de faibles températures hivernales et des températures estivales très élevées variant entre 5 et 44°C, d'une faible humidité atmosphérique. Le mois de décembre enregistre le maximum d'humidité tandis que le mois de juillet le minimum ; l'humidité dans la région de Ouargla est limitée entre 24-62% dans l'année. La pluviométrie est faible, elle varie de 20 à 60 mm. Le vent souffle du Nord-est et du Sud, les vents les plus fréquents en hiver sont les vents de l'Ouest, tandis qu'au printemps ce sont les vents du Nord-est et l'Ouest qui dominent. en été ils soufflent du Nord-est et du Sud-ouest. La vitesse moyenne annuelle  $V_{moy} = 3.7 \text{ m/s}$ .

L'ensoleillement est considérable à Ouargla, car l'atmosphère présente un ciel généralement clair durant des périodes importantes durant l'année, avec environ 138 jours en moyenne de l'année où le ciel est totalement clair[25], ce facteur est considéré comme avantageux et économique.

#### **-Données météorologiques (Ouargla)[25]:**

-Altitude (Z)= 141 m

-Longitude ( $\gamma$ )=5°24'E.

-Latitude (L) =31°57'

-Albédo ( $\zeta$ )=0.35.

### **-Evaluation des besoins**

Selon le dernier recensement de la population, l'occupation algérienne moyenne d'un local usage d'habitation est de 7.2 personnes. Pour ce qui suit, il sera considéré une occupation moyenne de 7 personnes/logement d'une superficie de 100 m<sup>2</sup>.

Pour les besoins spécifiques et en tenant compte des normes en la matière fixant les quantités et les températures respectives, nous arrivons à un besoin global quotidien d'environ 62 litres d'eau à 50°C[25].

#### **Température d'eau de l'entrée :**

En l'absence de données précises et compte tenu du mode de distribution de l'eau en milieu urbain (conduites enterrées à environ 0.7 à 3 mètres, voir plus pour les conduites principales et certains sites) la température du réseau sera supposée constante et égale à la température ambiante annuelle moyenne du site considéré. Hypothèse vérifiée pour la température du sol à partir d'une profondeur de 3 mètres,  $T_{fe}=23.7$  °C [26].

### **4.3 Qu'est-ce que meteonorm?**

meteonorm est une base de données climatologique complète pour les applications de l'énergie solaire:

- Meteonorm est une base de données météorologiques contenant des données climatologiques complètes pour applications d'ingénierie solaire sur tous les sites du globe. Les résultats sont stochastiquement générés des années typiques à partir de moyennes mensuelles interpolées à long terme. Ils représentent un moyen année de la période climatologique sélectionnée en fonction des paramètres de l'utilisateur. En tant que tels, les résultats ne représentent pas une véritable année historique, mais une année hypothétique qui représente statistiquement une année typique à l'endroit choisi.

- ✓ Métronome est un programme informatique permettant d'effectuer des calculs climatologiques.
- ✓ Métronome est une source de données pour les programmes de conception technique dans les domaines passif et actif. L'application photovoltaïque de l'énergie solaire avec des interfaces de données complètes.

- ✓ Métronome est un outil de normalisation permettant aux développeurs et aux utilisateurs de la conception technique de programme l'accès à une base de données météorologiques complète et uniforme.
- ✓ Métronome est une référence météorologique pour la recherche environnementale, l'agriculture, la foresterie et pour toute autre personne intéressée par la météorologie et l'énergie solaire[27].

### 4.4 Qu'est-ce que TRNSYS?

TRNSYS (prononcé «tran-sis») est un environnement logiciel extrêmement flexible, basé sur des graphiques, utilisé pour simuler le comportement de systèmes transitoires. Alors que la grande majorité des simulations sont axées sur l'évaluation des performances des systèmes d'énergie thermique et électrique, TRNSYS peut également être utilisé pour modéliser d'autres systèmes dynamiques tels que les flux de trafic ou les processus biologiques.

TRNSYS est composé de deux parties :

Le premier est un moteur (appelé noyau) qui lit et traite le fichier d'entrée, résout le système de manière itérative, détermine la convergence et trace les variables système. Le noyau fournit également des utilitaires qui (entre autres choses) déterminent les propriétés thermophysiques, inversent les matrices, effectuent des régressions linéaires et interpolent des fichiers de données externes.

La deuxième partie de TRNSYS est une bibliothèque complète de composants, chacun modélisant les performances d'une partie du système. La bibliothèque standard comprend environ 150 modèles allant des pompes aux bâtiments multizones, des éoliennes aux électrolyseurs, des processeurs de données météorologiques aux routines économiques et des équipements HCVC de base aux technologies émergentes de pointe. Les modèles sont construits de manière à ce que les utilisateurs puissent modifier des composants existants ou écrire les leurs, élargissant ainsi les capacités de l'environnement[28].

#### **Caractéristiques du capteur :**

Nous avons sélectionné pour cette étude de type 72 a

### 4.5 Effet Les paramètres externes

#### L'effet des conditions météorologiques sur l'énergie utile de capteur

##### 4.5.1 Effet du rayonnement global sur la puissance utile :

Notre étude est présentée en fonction des possibilités offerte par transy, l'effet du rayonnement est représenté par l'effet de l'irradiation sur la puissance utile du capteur, illustré sur les six figures. V-1 à V-6. Ces figures représentent à la fois l'irradiation solaire et la puissance utile du capteur solaire étudié respectivement des six journées typiques du 24.11.2018, 27/12/ 2018, 01/10 / 2018, 19/02 /2019, 15/03/2019 et 24/04/2019.

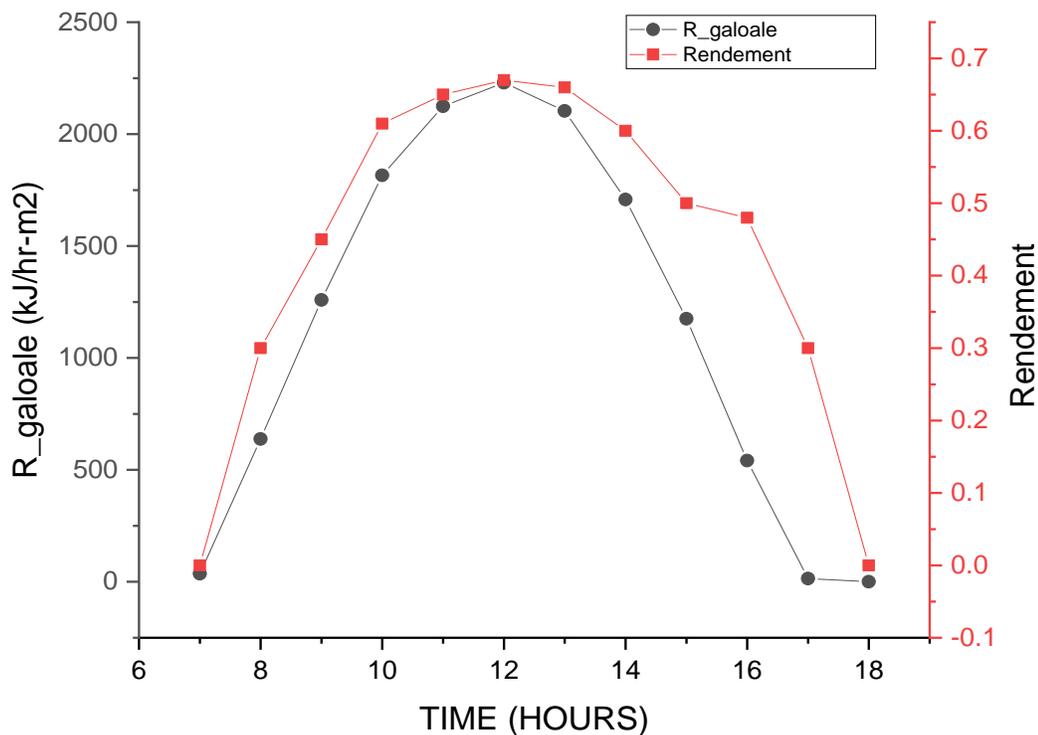


Figure IV-1 : Evolution du rayonnement global en fonction de temps 24/11/2018

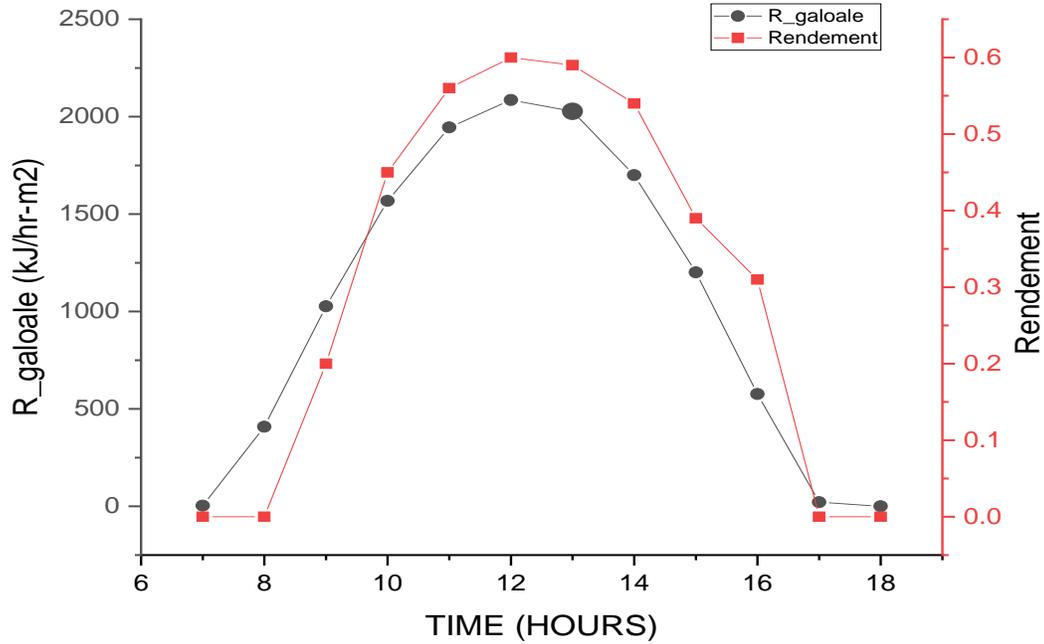


Figure IV-2 : Evolution du rayonnement global en fonction de temps 27/12/ 2018

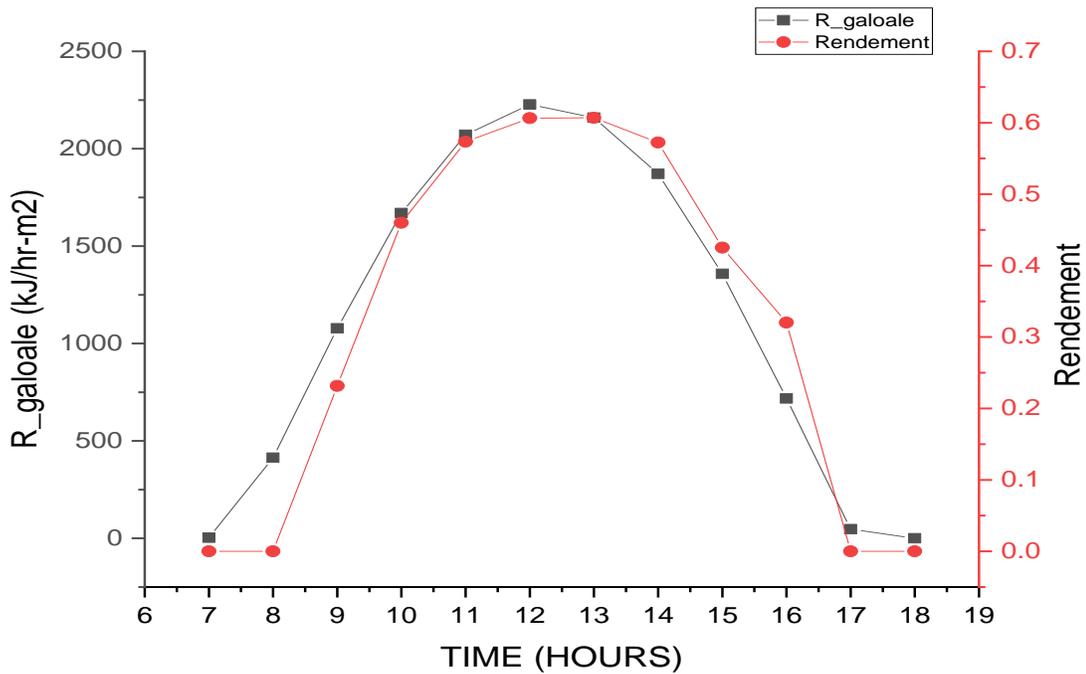


Figure IV-3 : Evolution du rayonnement global en fonction de temps 10/01 / 2019

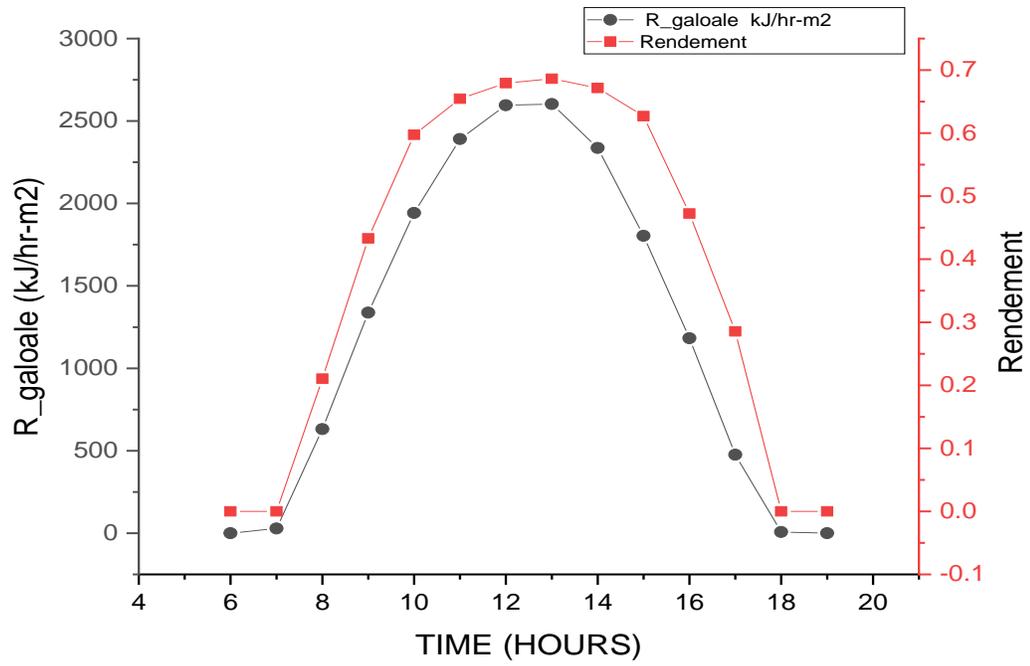


Figure IV-4 : Evolution du rayonnement global en fonction de temps 19/02 /2019

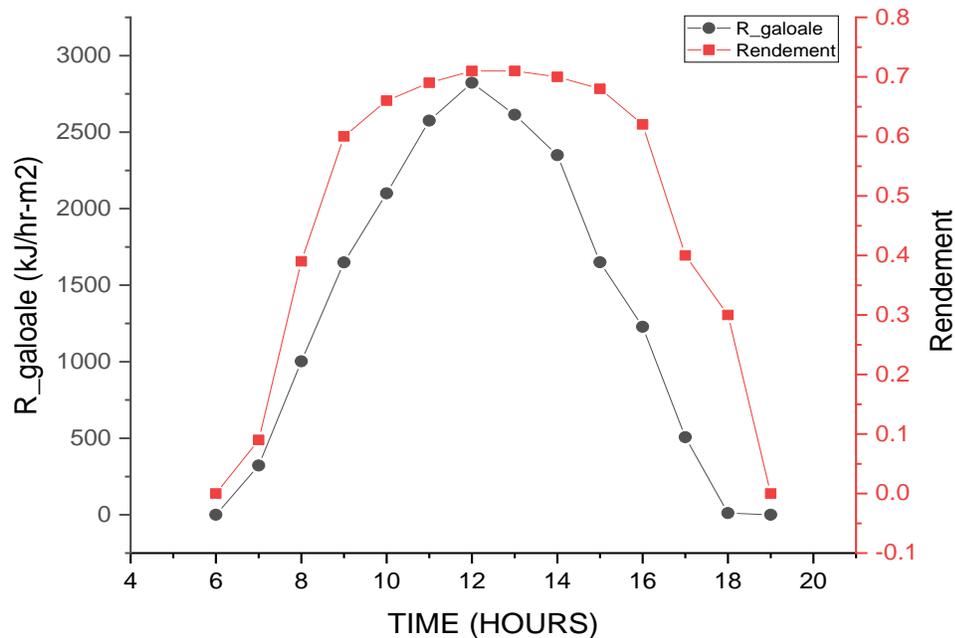


Figure IV-5 : Evolution du rayonnement global en fonction de temps 15/03/2019

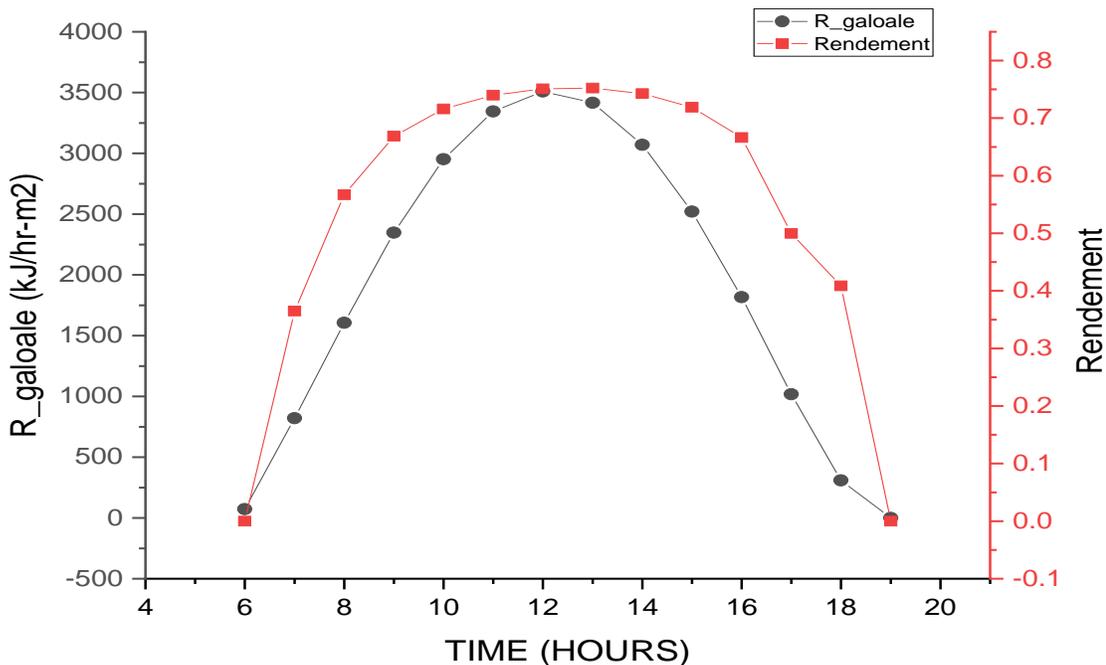


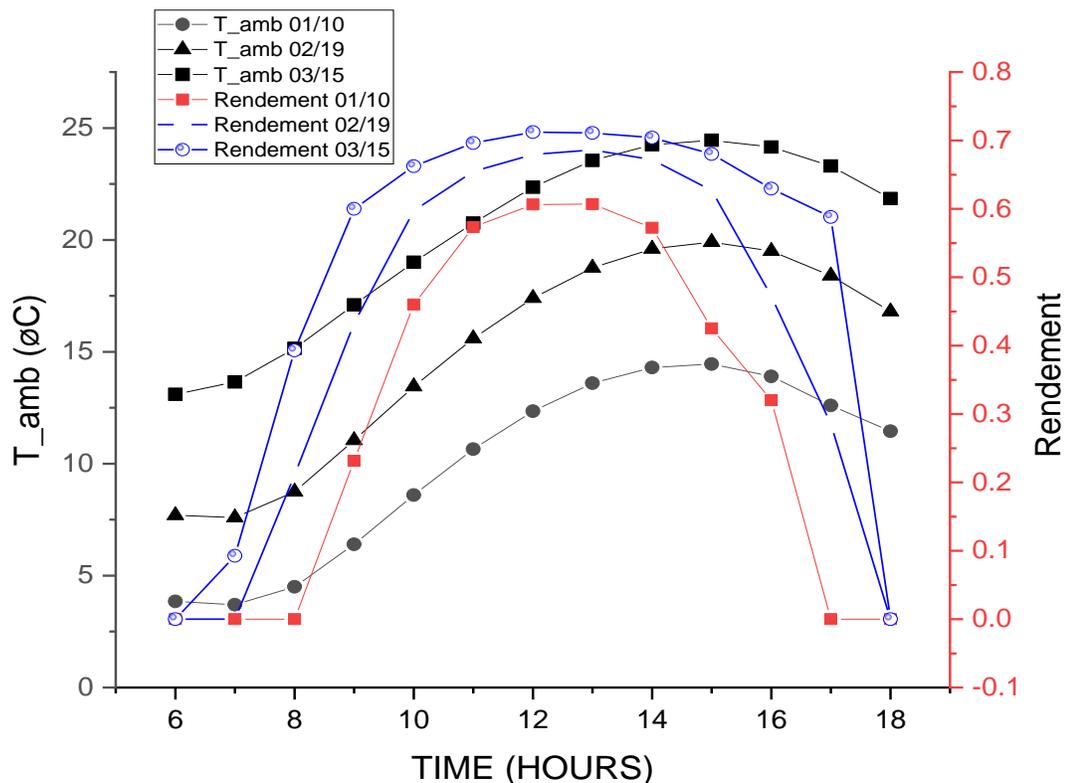
Figure IV-6 : Evolution du rayonnement global en fonction de temps 04/24/2019

D'après les résultats illustrés par les différentes courbes de ces figures pour les différentes journées choisies, nous constatons que le rendement instantané et le rayonnement solaire (irradiation) évoluent durant la journée, en augmentant jusqu'à atteindre une valeur maximale à la mi-journée, ensuite ils diminuent progressivement dans l'après-midi jusqu'à à une valeur minimale en fin de la journée.

Sur la base de ces résultats, nous trouvons que la valeur du rayonnement solaire et le rendement instantané varient en fonction des mois choisis, de novembre à décembre, ils diminuent, puis de janvier à avril augmentent progressivement. nous remarquons qu'à mi-journée l'irradiation et le rendement instantané sont maximaux le mois d'avril à mi-journée est maximal. De valeurs meilleurs, d'irradiation :  $3500\text{kJ}/(\text{Hr.m}^2)$  soit  $972\text{W}/\text{m}^2$  et de rendement de 0,75 en mois d'avril. Ceci est due à l'état du ciel clair d'une part et à la position du soleil par rapport à la terre en ce jours du mois d'avril par rapport au autres journées choisis. Les valeurs de l'irradiation solaire, de la puissance récupérées par le fluide coloporteurs et du rendement dépendent de l'états du ciel et de la position du soleil par rapport à la terre et en fonction de la période de l'année.

### 4.5.2 Effet de la température ambiante

La courbure de la figure IV-7 représente l'évolution de la température ambiante et du rendement instantané pour trois journées, à savoir ; **10/01/2019, 21/02/2019 et 15/03/2019.**



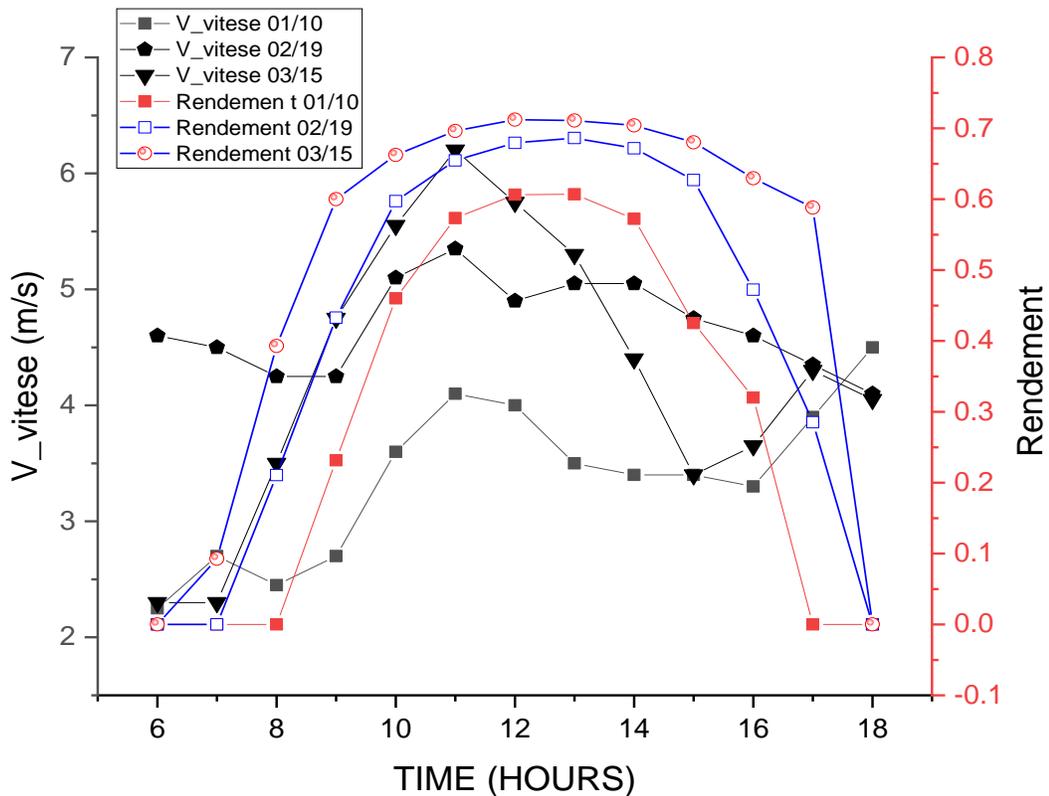
**Figure IV-7 : Evolution du rendement instantané et température ambiante en fonction de temps pour les journées du 10/01/2019, 19/02/2019 et 15/03/2019.**

De ces courbes on constate, les températures ambiantes augmentent du matin jusqu'à atteignent un maximum vers 14hr à 15hr, puis diminuent à des valeurs plus basses jusqu'à la fin de journée. De même le rendement instantané pour les différentes journées étudiées augmente du minimum au matin jusqu'à la mi-journée ou il atteint le max entre midi à 14hr puis diminue progressivement jusqu'à la fin de la journée où il devient minim. Le rendement maximum pour les trois journées passe de 0,71 au 15 mars à 0,68 au 19 février et à 0,6 au 10 janvier. Donc le rendement instantané dépend de l'état du ciel et de la position du soleil par rapport à la terre, en fonction de la période de l'année. Comme pour le cas de l'effet de l'irradiation solaire sur le

rendement du capteur solaire présenté ci-dessous. Donc l'effet de la température ambiante sur le dispositif d'absorption est évident.

### 4.5.3 Effet de la vitesse du vent

Les courbes de la figure IV-8 illustrent les changements de vitesse du vent et de son effet sur le rendement instantané du capteur pour les trois journées 10/01/2019, 21/02/2019 et 15/03/2019.

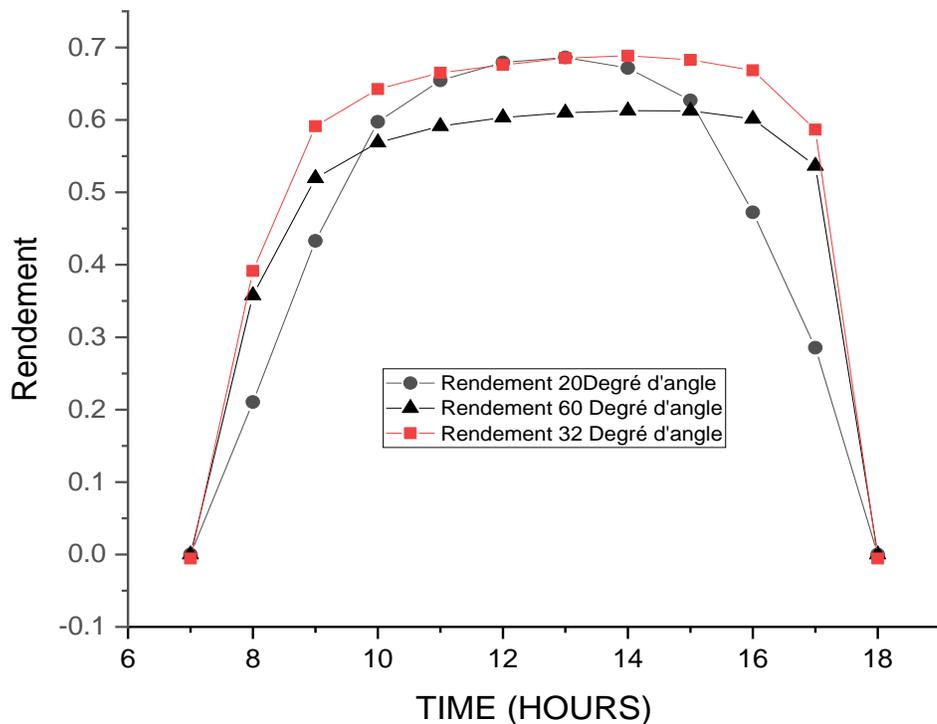


**Figure IV-8 : Evolution du rendement instantané et la vitesse du vent en fonction de temps pour les journées du 10/01/2019, 19/02/2019 et 15/03/2019.**

On constate que les faibles vitesses sont plus favorables. En effet, pour une même valeur de l'éclairement solaire reçue par le capteur solaire, l'accroissement de la vitesse du vent provoque une baisse des températures des éléments du capteur notamment de sa couverture (vitre) en conséquence une augmentation des déperditions thermique vers l'avant du capteur ce qui conduit à un rendement moindre.

#### 4.5.4 Effet d'angle d'inclinaison du capteur

Les courbes de la figure IV-9 représente le rendement instantané du capteur solaire plan en fonction de l'angle d'inclinaison du panneau solaire et le temps pour une journée sélectionnée le 21/02/19. La courbe du rendement est illustrée pour la pente ou l'angle du capteur de valeurs 20, 30 et 60.



**Figure IV-9 : Evolution du rendement instantané en fonction de l'inclinaison du capteur**

Sur la figure (IV-9), il est facile d'observer le rendement instantané du capteur, dont la valeur la plus élevée est pour l'inclinaison de 32°, il est inférieur à 20 et à 60 degrés.

Nous concluons que l'angle 32 est la position optimale qui assure une bonne réception de rayonnement solaire [29].

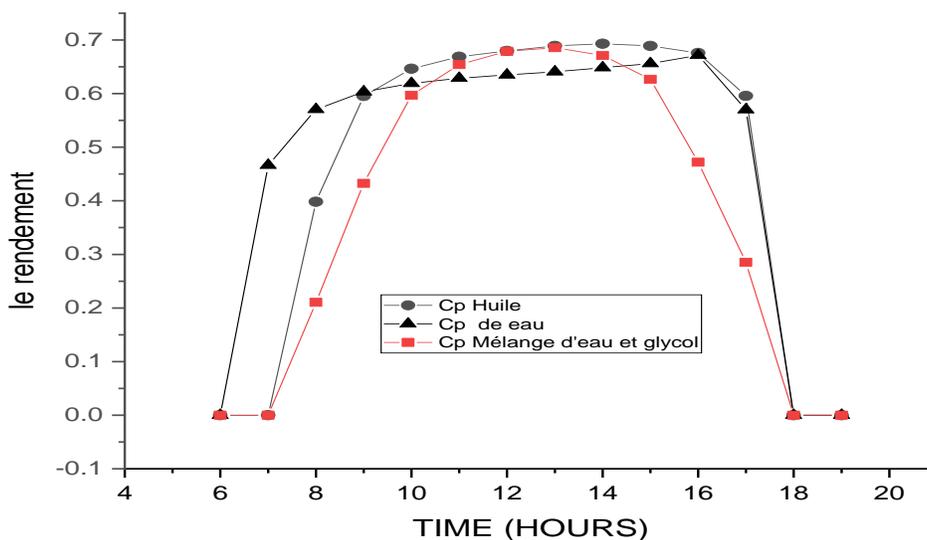
### 4.6 Effet Les paramètres internes

#### 4.6.1 Effet de la nature du fluide caloporteur

L'objectif de la courbe de la Figure IV -10 est de déterminer l'effet de la nature du fluide sur les performances du capteur. La courbe représente l'évolution du rendement thermique du capteur plan solaire en termes de temps pour la journée sélectionnée du 21/2/2019, pour les chaleurs spécifiques de (mélange d'eau et glycol, d'eau et l'huile).

**Tableau IV.1. Caractéristiques des matériaux utilisés comme absorbeur**

la nature du fluide	Chaleurs spécifiques (kJ.kg <sup>-1</sup> .k <sup>-1</sup> )	la masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )
d'eau	4.1850	1000
l'huile	1.97	900
(mélange d'eau et glycol)	3.97	glycol 30 % + eau 70 %

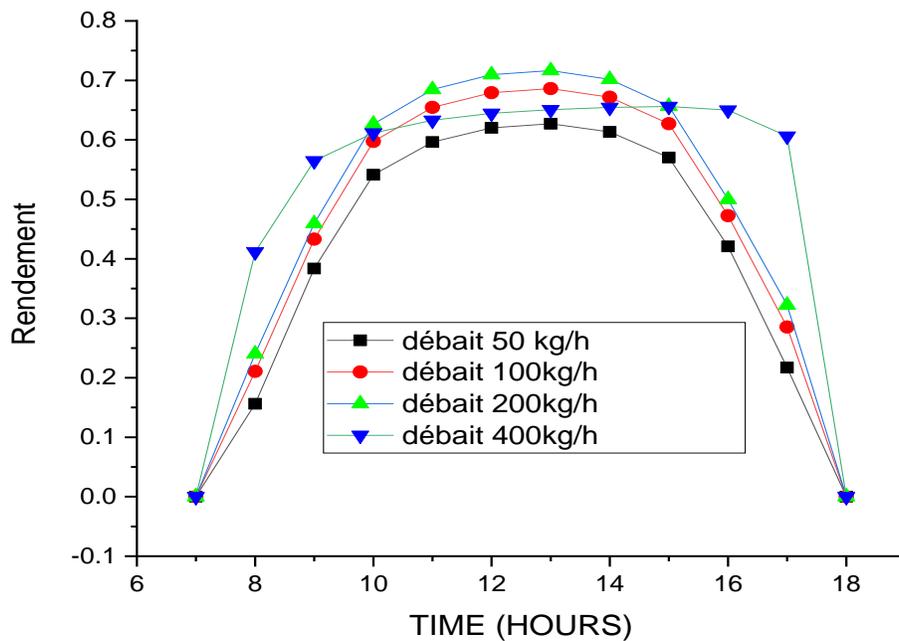


**Figure IV -10 : Evolution du rendement instantané en fonction de la nature du fluide pour la journée 21/02/2019**

Sur la base des résultats de la courbe de cette figure, je trouve que l'eau donne le meilleur rendement, ce qui est dû au fait qu'il possède la meilleure de la chaleur spécifique.

### 4.6.2 Effet du débit

L'évolution du rendement du capteur solaire en fonction du temps de la journée choisie du 21/02/2019 pour les débits de fluide du capteur de 50, 100, 200 et 400kg/h est illustrée sur la *Figure IV-11*.



**Figure IV-11 : Variation du rendement instantané du capteur plan en fonction de temps et des débits sélectionnés de 50, 100, 200 et 400kg/h**

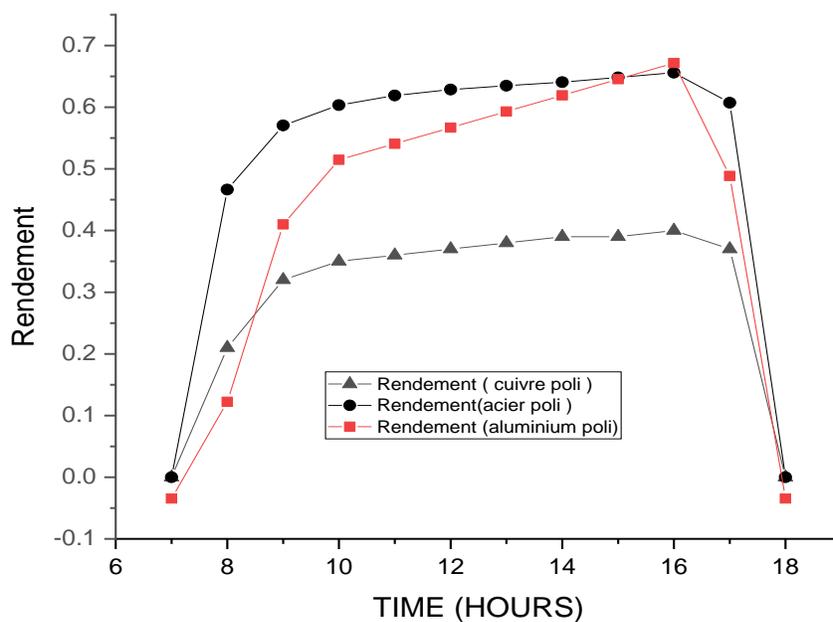
D'après des résultats, des courbes de la figure (IV-11), le rendement le plus élevé du capteur immédiat est compris entre 68 % et 70 % pour un écoulement de 200 Kg/h à 100 Kg/h et rendement moins efficace pour un écoulement de 400 et 50 kg/h, le rendement est inférieur à 65%.

### 4.6.3 Effet de la nature du matériau absorbant

De la figure IV-12 on vise à déterminer le matériau absorbant utilisé qui donnera les meilleures performances du capteur, dans lequel nous choisirons l'aluminium, le fer et le cuivre et dénotons leurs performances.

**Tableau IV.2. Caractéristiques des matériaux utilisés comme absorbeur**

le matériau absorbant	Conductivité thermique ( $w.m^{-1}.k^{-1}$ )	chaleurs spécifiques ( $J.k^{-1}.kg^{-1}$ )
l'aluminium	237	897
le cuivre	380	401
acier poli	52	440

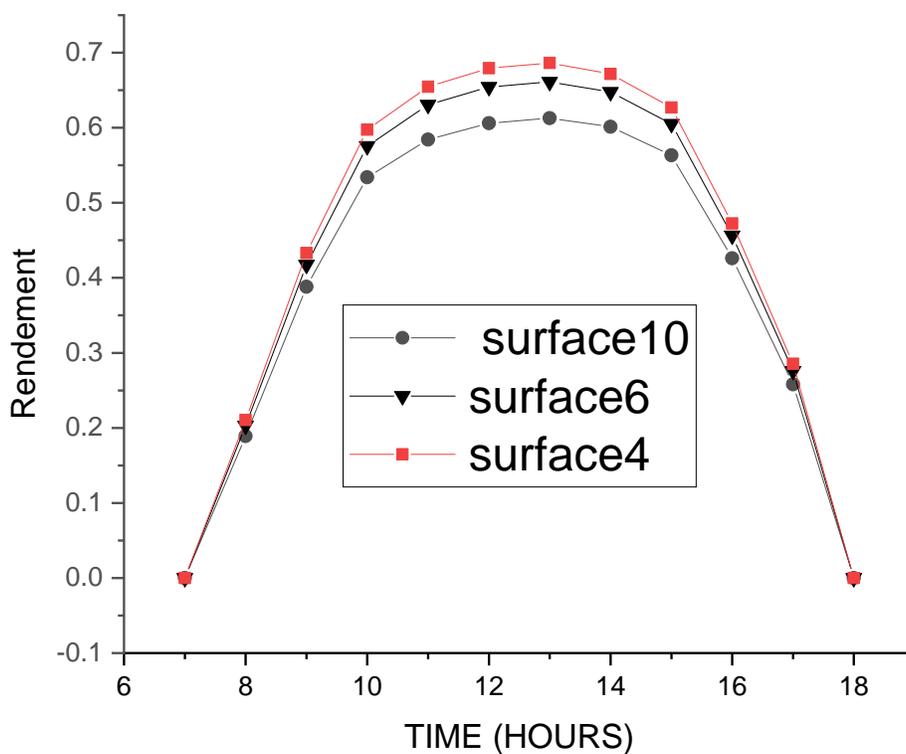


**Figure IV-12 : Variation du rendement instantané en fonction des propriétés de l'absorbeur**

Des courbes de la figure (IV-12), Il est clair qu'un absorbeur en acier poli donnera un meilleur rendement que celui en cuivre poli ou en aluminium poli. Mais vu la densité de l'acier beaucoup plus élevée que celle de l'aluminium. Ce dernier est préférable pour son rapport efficacité/poids.

### 4.6.4 Effet La surface du capteur

Dans cette courbe, notre objectif est d'étudier l'effet de la surface du capteur sur ses performances dans Cole. Nous déterminons la zone du capteur et ses performances dans les zones 10, 6 et 4m<sup>2</sup> pour la journée sélectionnée 21/02/2019

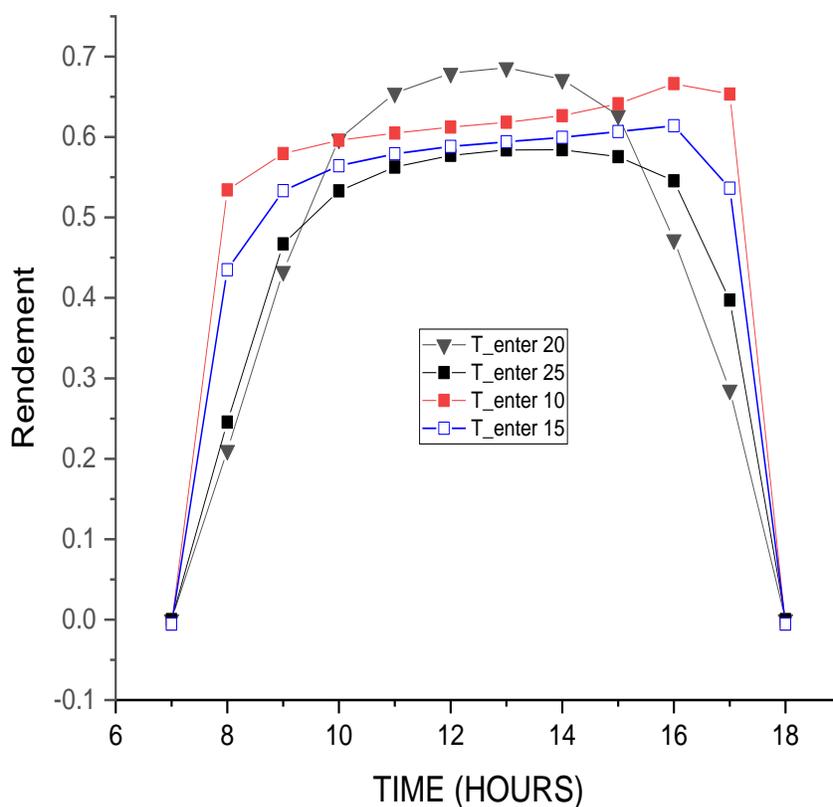


**Figure IV-13 : Variation du rendement instantané du capteur plan en fonction de temps du sélectionnés la surface 10,6,4m<sup>2</sup>**

D'après l'observation des résultats, voir la figure IV-13, je constate que le rendement le plus élevé pour un retour immédiat était 70° en surface 4 m<sup>2</sup>, et en surface 6 m<sup>2</sup> inférieur à 65° , alors qu'en surface 10 m<sup>2</sup>, il prend moins de 55° .

### 4.6.5 Effet la température entrée

L'objectif de la courbe est de déterminer l'effet de la température d'entrée sur la performance du capteur. Les gradients de température ont été obtenus à partir du réseau d'eau jusqu'à l'état de Ouargla d'une valeur de 10, 15, 20 et 25 c° pour la journée sélectionnée 21/02/2019

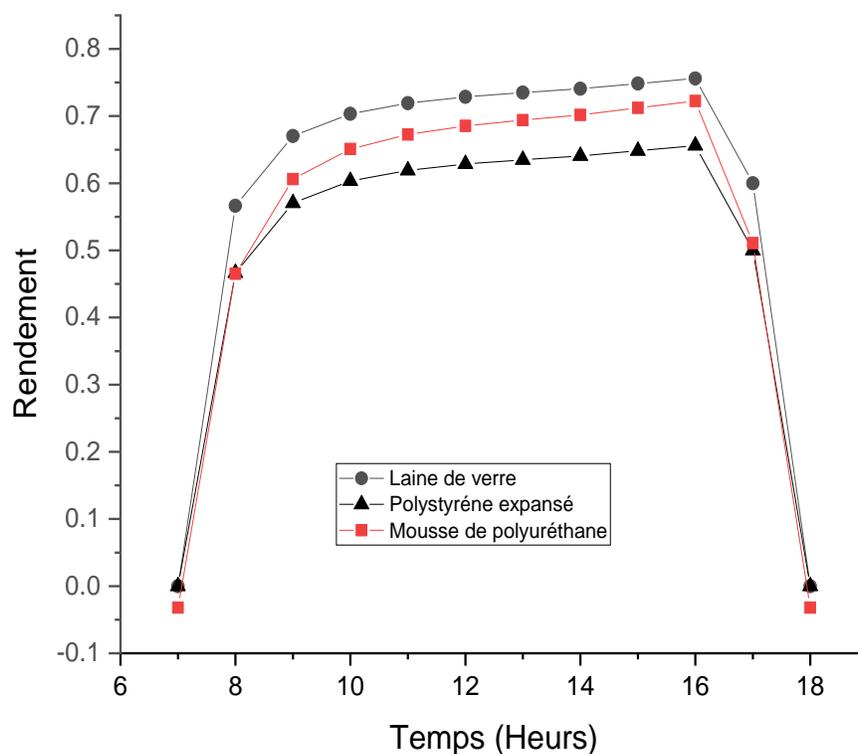


**Figure IV-14 : Variation du rendement instantané du capteur plan en fonction de temps du la température entrée sélectionnés**

D'après les résultats de la figure (IV-14), à la température de l'entrée 20 C°, la valeur du meilleur rendement est de 68% et à la température d'entrée 10,15,25C° la valeur de rendement est comprise entre 57 % et 54%.

#### 4.6.6 Effet des propriétés thermo physiques de l'isolant

Grâce à cette courbe montre l'effet de différentes épaisseurs du matériau isolant choisira les isolateurs suivants en Laine de verre, Mousse de polyuréthane, Polystyrène expansé pour la journée sélectionnée 21/02/2019

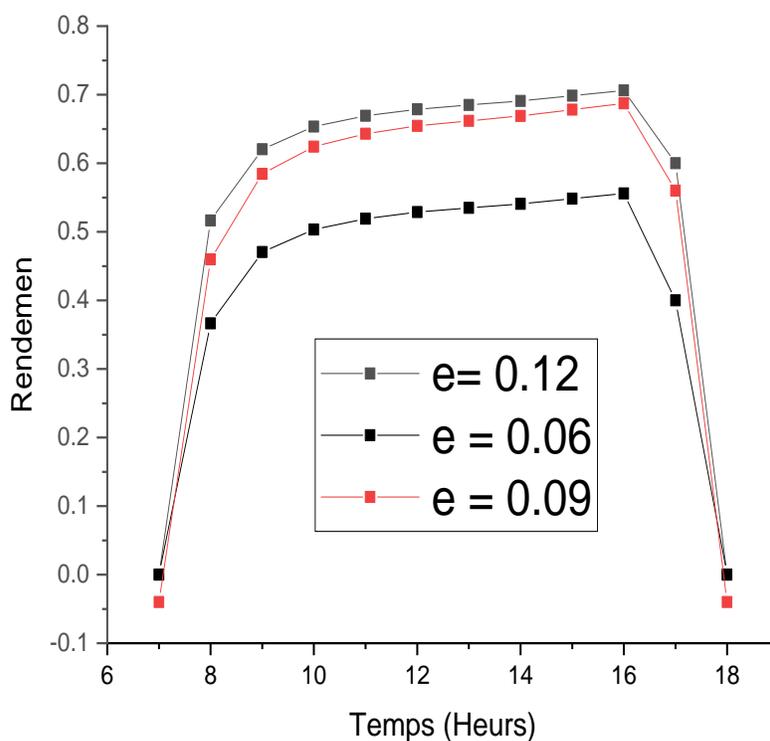


**Figure IV-15 : Evolution du rendement instantané en fonction des propriétés de l'isolant**

La mousse la laine de verre donne un rendement meilleur par rapport à Mousse de polyuréthane et le polystyrène expansé (figure IV-15) du fait de ses propriétés thermophysiques, à savoir, une faible conductivité thermique et une chaleur spécifique importante.

#### 4.6.7 Effet de l'épaisseur de l'isolant

L'objectif de cette courbe est de déterminer l'effet de la modification de l'épaisseur de l'isolant sur les performances du capteur : nous choisirons Laine de verre et modifierons l'épaisseur des valeurs 0,12, 0,09 et 0,06 m.



**Figure IV-16 : Evolution du rendement instantané en fonction de l'épaisseur de l'isolant**

L'effet favorable de l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant sur le rendement instantané du capteur est illustré sur la figure (IV-16). En fait, l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant diminue le coefficient de conduction de l'isolant qui est inversement proportionnel à l'épaisseur de l'isolant, cependant, il est nécessaire d'optimiser cette épaisseur pour établir le meilleur compromis rendement-coût.

### 4.7 validation des résultats

Nous profitons des résultats expérimentaux obtenus par doctorant de L.E.N.R.E.Z.A. Univ KM Ouargla pour valider les résultats obtenus en utilisant Trnsys.

Le capteur solaire plan étudié présente les caractéristiques suivantes :

**Tableau IV.3. Caractéristiques du capteur plan étudié**

Dimensions (m)	1.205*1.950*0.150
Enveloppe	Aluminium Epaisseur 0.35 mm
Radiateur	Cuivre Nombre de tubes=10 L=1.8 m
Absorbeur	Aluminium Surface = 2.07 m <sup>2</sup> Doté d'une surface noire sélective
Isolation	Laine de verre Le fond=50 mm Les cotés=20 mm
Vitrage	Epaisseur=4 mm Transmissivité=0.83

Par comparaison des résultats obtenus de la température de sortie du capteur et les résultats de l'irradiation en fonction du temps de la journée choisie du 21 février 2016, à partir de trnsys avec les résultats de l'expérimentales de doctorant de L.E.N.R.E.Z.A. Univ KM Ouargla, (Figure IV.17).

Nous constatons que les deux types de résultats sont suffisamment comparables, malgré les différences de l'ordre d'un degré pour les températures de sortie du fluide durant la journée, en particulier dans la matinée entre 9hr et 12hr.

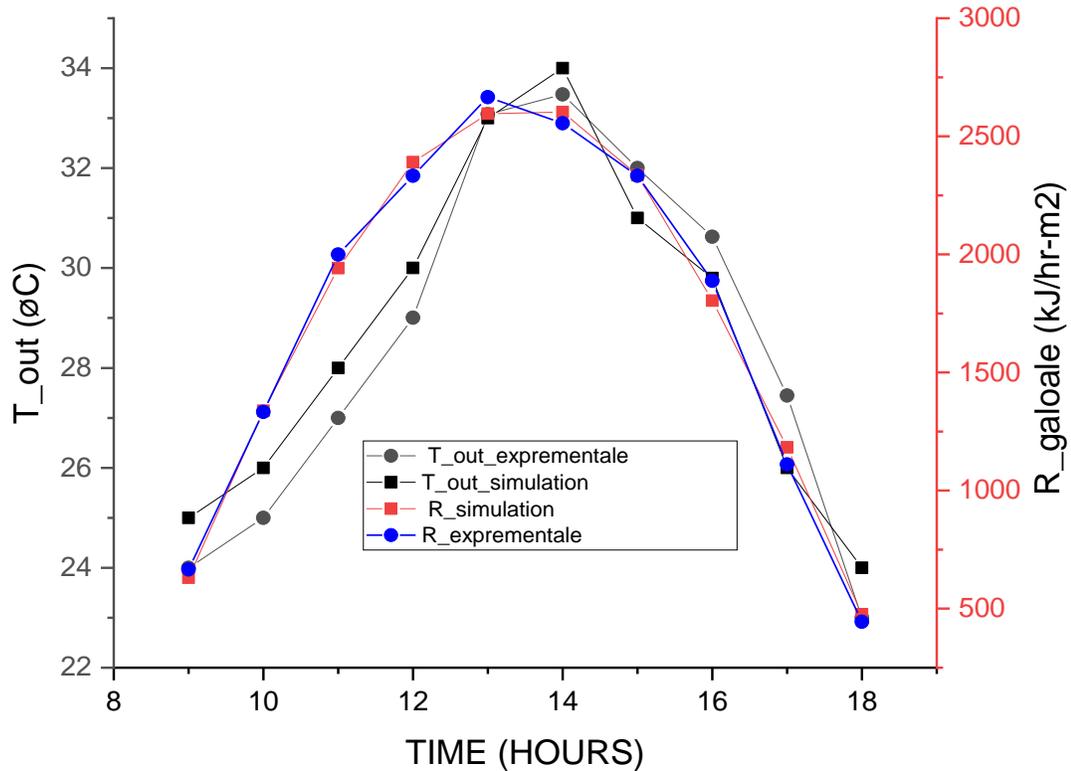


Figure IV.17 : Variation temporelle de la température du fluide et rayonnement global

### 4.8 Conclusion

Les résultats de l'étude sur l'effet des facteurs externes et internes sur la région de Ouargla: L'effet de la température ambiante, estimé de  $10^{\circ}\text{C}$  à  $25^{\circ}\text{C}$  sur une période de trois mois, la vitesse du vent de  $03\text{ m/s}^2$  et  $06\text{ m/s}^2$  et le rayonnement solaire de  $600\text{ w/m}^2$  à  $900\text{ w/m}^2$  sur six Mois, ainsi que l'étude de l'effet de la nature du matériau de l'absorbeur, la nature et l'épaisseur de l'isolant, la surface du capteur et la nature du fluide caloporteur sur la performance du capteur solaire ont permis de déterminer les paramètres favorables aux meilleures performances du capteur solaire étudié. Ces paramètres sont résumés dans le tableau suivant.

**Tableau. IV.4. Paramètres internes et externes favorables aux meilleures performances de fonctionnement du capteur étudié.**

<b>Différence Paramètres</b>	<b>Valeurs optimal</b>
angle d'inclinaison du capteur	32 degrés
Débit	100 KJ/h -200 KJ/h
Temperature entrée	20 degrés
La nature du matériau absorbant	acier poli
propriétés thermo-physique	laine de verre
La surface du capteur	4 m <sup>2</sup>
l'épaisseur de l'isolant	0.12m
chaleurs spécifiques	d'eau : 4.1850 (kJ.kg <sup>-1</sup> .k <sup>-1</sup> )

# CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans le cadre de nos travaux, nous avons mené une étude sur les performances de capteur plan d'eau solaire en état stable. Nous avons visé essentiellement l'étude de l'effet des paramètres géométriques et énergétiques sur la performance principale du capteur solaire plan à liquide. Nous avons commencé avec une vue détaillée des données astronomiques qui sont nécessaire pour toutes les études de systèmes solaires. Après avoir donné une apparence par généralités sur les capteurs solaires en générale et les capteurs plans en particulier.

Nous avons développé l'étude sur les capteurs de pointe plans solaires et leurs composants ainsi que les différentes caractéristiques de ces composants et du capteur plan qui font l'objet de notre étude.

Notre étude a porté aussi sur le plan énergétique : rayonnement solaire, bilan énergétique et transfert thermiques (ou pertes thermiques) dans le but de montrer le comportement énergétique du capteur avec son entourage proche et lointain et de définir les différentes performances du capteur solaire plan.

L'effet de l'ingénierie et des paramètres énergétiques sur la performance d'un capteur solaire plat à liquide ont été abordés. À cette fin, le programme meteonorm et le programme Trnsys sont utilisés pour déterminer l'évolution du rayonnement solaire, de la température ambiante, en fonction du temps pour différentes journées de l'année 2019 et leurs effets sur le rendement instantané du capteur solaire à eau. Le rendement instantané du capteur a été déterminé en fonction du temps pour une journée choisi le 21 février 2019, sous l'effet de différents paramètres ; la nature du fluide, le débit du fluide, l'épaisseur et la nature de l'isolant du capteur et la nature du matériau de l'absorbeur.

Les différents résultats sont représentés graphiquement, annotés et interprétés. Les résultats de performance sont validés à travers les résultats de la littérature. Nos résultats mettent en évidence l'effet des paramètres opérationnel sur l'efficacité instantanée des capteurs solaires plats.

Il est clair que le rayonnement solaire global a un impact significatif la performance immédiate de notre système solaire, en tant que paramètre externe, a également permis d'observer l'effet de la température ambiante. En effet, l'augmentation de la température ambiante améliore l'efficacité actuelle du capteur énergie solaire.

## CONCLUSION GÉNÉRALE



Les résultats de l'effet des différents paramètres étudiés sont présentés en fin du chapitre IV. Par ailleurs, les résultats obtenus à l'aide de Trnsys de la température de sortie de fluide du capteur et du rayonnement en fonction du temps pour une journée typique choisie ont été validés à travers les résultats les mêmes paramètres expérimentaux réalisées au niveau du labo ENREZA UKM Ouargla.

# Références Bibliographie

- [1]. Karroute, S., *Etude théorique et numérique des systèmes couplés*. 2009.
- [2]. CHERIFI, K., *OPTIMISATION D'UN SYSTEME DE REFRIGERATION SOLAIRE A ABSORPTION A USAGE DOMESTIQUE*.
- [3]. Riahi, H., *Développement d'une méthode des frontières immergées pour l'analyse et le contrôle des écoulements compressibles*, 2018, Chasseneuil-du-Poitou, Ecole nationale supérieure de mécanique et d ....
- [4]. Pastur, L.R., et al. *Oscillations auto-entretenues et instabilités centrifuges dans un écoulement de cavité ouverte*. in *16ème Congrès Francophone de Techniques Laser pour la mécanique des fluides*. 2018.
- [5]. Blanchette, M., et al., *Services hydrologiques rendus par les milieux humides dans un contexte dynamique d'occupation du territoire: étude de cas du bassin versant de la rivière Saint-Charles*. 2018.
- [6]. BENAHMED, L., B. MOSTEFA, and F. Zahra, *Intégration d'un système de rafraichissement solaire au bâtiment. Faisabilité technico-économique*, 2012.
- [7]. Bernard, J., *Energie Solaire; Génie Electrique-Calculs et Optimisation*. Technosup, Edition Ellipses, 2004.
- [8]. Derbal-Mokrane, H., et al., *Feasibility study for hydrogen production using hybrid solar power in Algeria*. international journal of hydrogen energy, 2011. **36**(6): p. 4198-4207.
- [9]. Mansouri, O., F. Bourbia, and R. Belarbi, *Influence de la réflectivité de l'enveloppe sur la demande énergétique des bâtiments et sur le confort thermique*. Nature & Technology, 2018(18): p. 33-42.
- [10]. Jannot, Y., *Cours thermique solaire*. Mars, 2011.
- [11]. Duffie, J.A. and W.A. Beckman, *Solar engineering of thermal processes* 2013: John Wiley & Sons.
- [12]. Hollands, K., G. Raithby, and L. Konicek, *Correlation equations for free convection heat transfer in horizontal layers of air and water*. International Journal of Heat and Mass
- [13]. Sen, Z., *Solar energy fundamentals and modeling techniques: atmosphere, environment, climate change and renewable energy* 2008: Springer Science & Business Media.
- [14]. Brahimi, A., *Etude de performances d'un capteur solaire plan a eau*, 2016, Université de Lorraine.

- [15]. Rivet, P., *Le Rayonnement solaire*, CNRS.
- [16]. Bernard, R., G. Menguy, and M. Schwartz, *Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications, technique et documentation Lavoisier*, 1983, Paris.
- [17]. Saad, A. and H. Damous, *Etude et conception d'un chauffe-eau solaire*, 2018, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- [18]. Khedim, A., *Mesure et caractérisation Thermodynamique d'un nouveau Systeme Solaire de Dessalement de l'eau de mer avec Récupération de chaleur*. Renouvelable. 11èmes Journées Internationales de Thermique, 2003: p. 1-12.
- [19]. Castillo-Castellanos, A., et al. *Statistiques conditionnelles des structures cohérentes en convection turbulente de Rayleigh-Bénard*. in *Rencontre du Non-Linéaire*. 2018.
- [20]. Ndiaye, M.M.D., *Optimisation d'un capteur solaire double passe à air et estimation des échanges de chaleur paroi-fluide*, 2018.
- [21]. Hollands, K., G. Raithby, and L. Konicek, *Correlation equations for free convection heat transfer in horizontal layers of air and water*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1975. **18**(7-8): p. 879-884.
- [22]. Benhamou, A., et al., *Diffusivité hydrique et cinétique de séchage solaire en convection forcée des feuilles de marjolaine*. Revue des Energies renouvelables, 2008. **11**(1): p. 75-85.
- [23]. Yettou, F., et al., *Etude et réalisation d'un banc d'essai pour un chauffe-eau solaire à circulation forcée dans la région des Hauts Plateaux*. Revue des Energies renouvelables, 2008. **11**(1): p. 119-128.
- [24]. Ouargla, M., M.B. Djamel, and M.B. Slimane, *Etude de l'irrigation d'un champ agricole par le pompage photovoltaïque dans la région de Hassi Ben Abdallah OUARGLA*.
- [25]. BOUIDIA, A. and M. IDDER, *Efficacité comparée de trois extraits végétaux (persil *Petroselinum crispum*, basilic *Ocimum basilicum* L et laurier *Laurus nobilis*), dans la lutte contre la pyrale des dattes *Ectomyelois ceratoniae* Z sur la variété Deglet-Nour à l'exploitation de l'Université Kasdi Merbah*, 2014.
- [26]. Hakem, S., N. Kasbadji-Merzouk, and M. Merzouk, *Performances journalières d'un chauffe-eau solaire*. Revue des Energies Renouvelables CICME, 2008. **8**: p. 153-162.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES



- [27]. Remund, J. and S.C. Müller. *Solar radiation and uncertainty information of Meteonorm 7*. in *Proceedings of 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*. 2011.
- [28]. Lima, J.B.A., R.T. Prado, and V.M. Taborianski, *Optimization of tank and flat-plate collector of solar water heating system for single-family households to assure economic efficiency through the TRNSYS program*. *Renewable Energy*, 2006. **31**(10): p. 1581-1595.
- [29]. BENKHELIFA, A., *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*. Mémoire de Master, Génie chimique. Ouargla: Université Kasdi Merbah Ouargla, 2012.
- [30]. Bernard, R., G. Menguy, and M. Schwartz, *Le rayonnement solaire: conversion thermique et applications* 1980: Technique et documentation.

## Annexe

### 1. Description du soleil

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

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 :

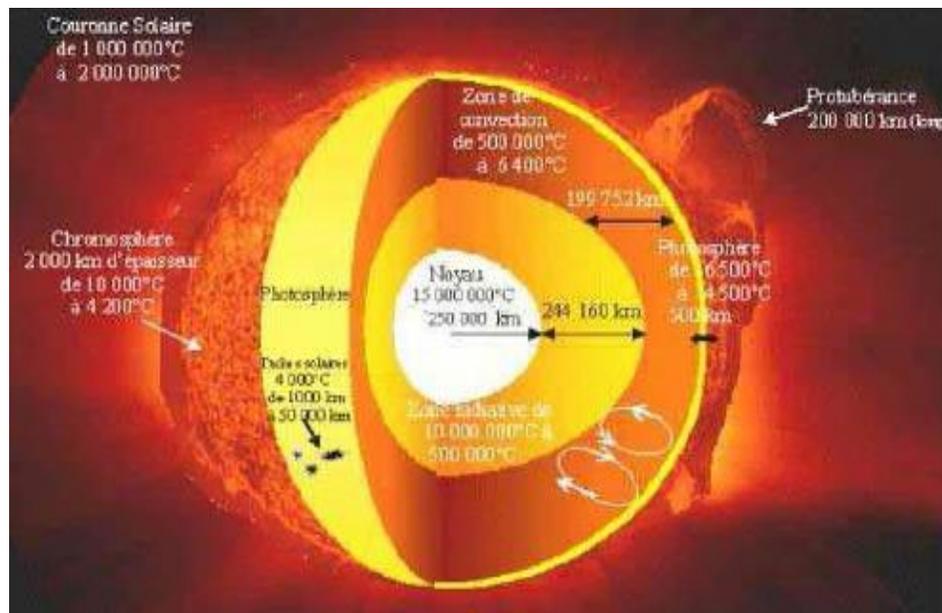


Figure .1. : structure de soleil

**Tableau 1 caractéristiques principales du soleil [3]**

Diamètre (km)	$14 \times 10^5$
Masse (kg)	$2 \times 10^{30}$
Surface (km <sup>2</sup> )	$6.09 \times 10^{12}$
Volume (km <sup>3</sup> )	$1.41 \times 10^{18}$
Masse volumique moyenne (kg/m <sup>3</sup> )	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	$2.5 \times 10^{17}$

### 1. Le mouvement de la terre

Dans son mouvement autour du soleil, la terre décrit une ellipse dont le soleil est l'un de ses foyers, la révolution complète s'effectue en une période de 365,25 jours. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique. C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est la plus proche du soleil : 147 millions de km. Au 22 juin la distance terre-soleil vaut 152 millions de km, c'est le jour ou 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 équinoxe d'automne. Aux équinoxes le jour et la nuit sont égaux. En plus de sa rotation autour du soleil, la terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Cette rotation s'effectue en une journée. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la terre est appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique, ils font entre eux un angle appelé inclinaison égale à  $23^{\circ}27'$  [30].

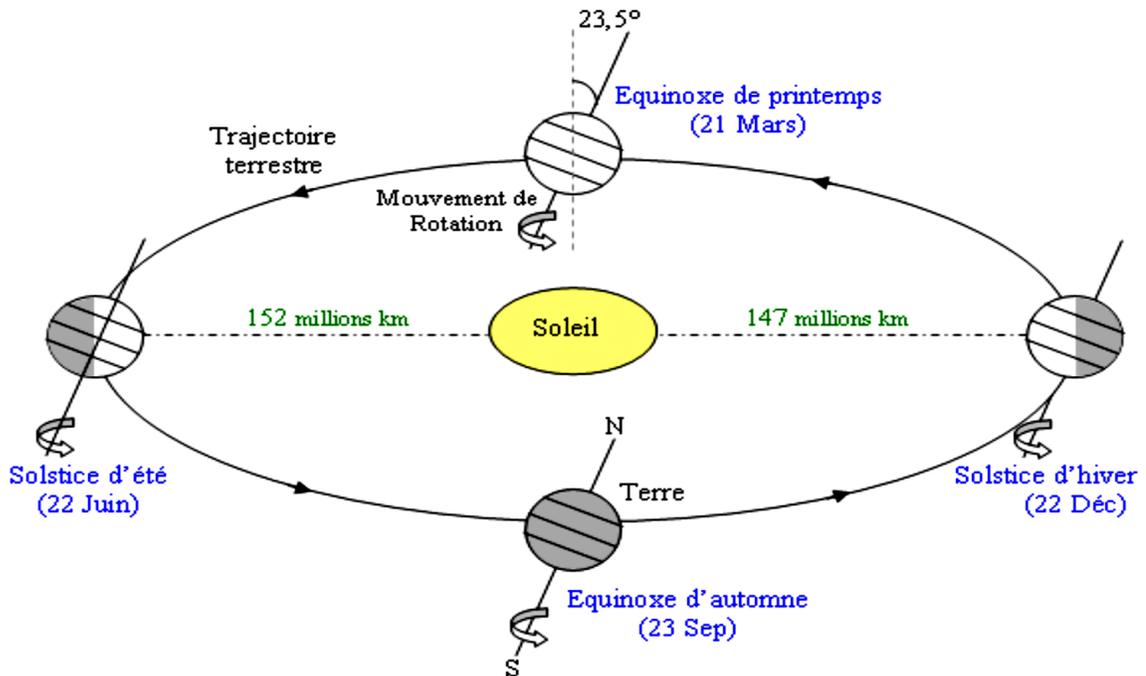


Figure .2. : Mouvement de la terre autour du soleil

## 2. Mouvement apparent du soleil

Le mouvement que paraît faire le Soleil en une journée vu par un observateur situé sur Terre est appelé ‘Le mouvement apparent du Soleil’. En dehors des régions polaires, de l’Equateur et des tropiques :

- Le matin ; le Soleil est à l’Est, bas sur l’horizon, c’est le « lever du Soleil »
- A midi ; le Soleil est positionné au Sud ou au Nord, et il est au plus haut de son trajet apparent ;
- Le soir ; le Soleil apparait à l’Ouest, bas sur l’horizon, c’est le « coucher du Soleil »

Le mouvement apparent du Soleil observé par un homme fixe en un point de latitude

L au Nord de l’Equateur est schématisé sur la figure (3).

L’angle que fait la direction du Soleil avec la verticale du lieu au midi solaire est égal à  $(L-d)$ .

La durée du jour est de 12h aux équinoxes, elle est inférieure à 12h entre le 21 septembre et le 21 mars, supérieure à 12 entre le 21 mars et le 21 septembre.

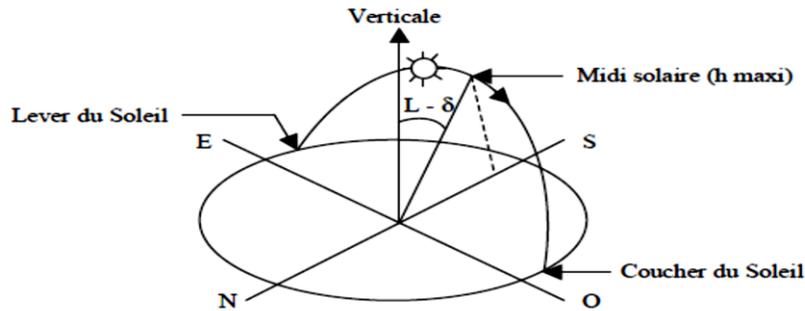


Figure .3. : Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude L .

### 3. Grandeurs géographiques et astronomiques

#### 1. Grandeurs pour le repérage du soleil

La position du soleil dans le ciel n'est pas fixe, elle change à travers le jour et 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). Afin de déterminer cette position il est d'usage d'utiliser deux repères : le repère équatorial ou horaire et le repère horizontal ou azimutal.

#### 2. Repère de coordonnées équatoriales

Dans ce repère la position du soleil dans le ciel est déterminée par deux grandeurs :

- **La déclinaison ( $\delta$ )** : 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 :

$$\delta = 23,27 \sin [360 / 365(j + 284)]$$

$\delta$  est exprimée en degrés.

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

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

$$\omega = 15 (TSV - 12)$$

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.

$$\text{TSV} = \text{TU} + 4 (\text{L}_{\text{St}} - \text{Lg}) + \text{ET}$$

TU : temps universel standard (mn)

L<sub>St</sub> : méridien standard du lieu (°)

Lg : méridien local du lieu (°)

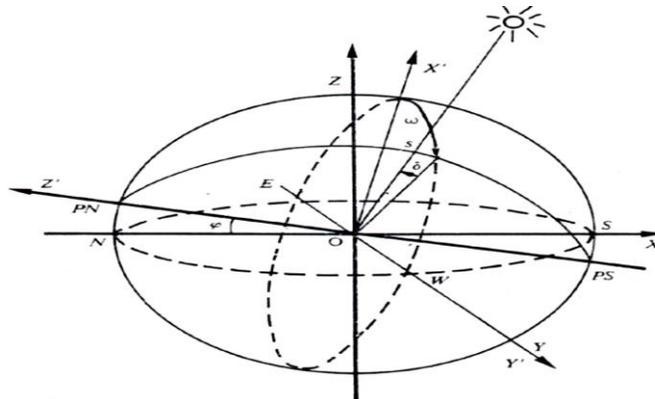
ET : correction de l'équation du temps, donnée par la relation suivante :

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

Avec

$$\text{JD} = (\text{J} - 81) \times (360/365)$$

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



**Figure .4. : Repère de coordonnées horaires**

### 3. Repère de coordonnées horizontales

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

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 :

$$\text{Sin}(h) = \text{sin}(\Phi) \cdot \text{sin}(\delta) + \text{cos}(\Phi) \cdot \text{cos}(\delta)$$

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 :  $\text{Sin}(a) = (\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)) / \cos(h)$

#### 4. 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 :

- **Latitude ( $\Phi$ )** : correspond à l'angle entre le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu et le plan équatorial. Elle varie de  $-90^\circ$  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 (Green winch).

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

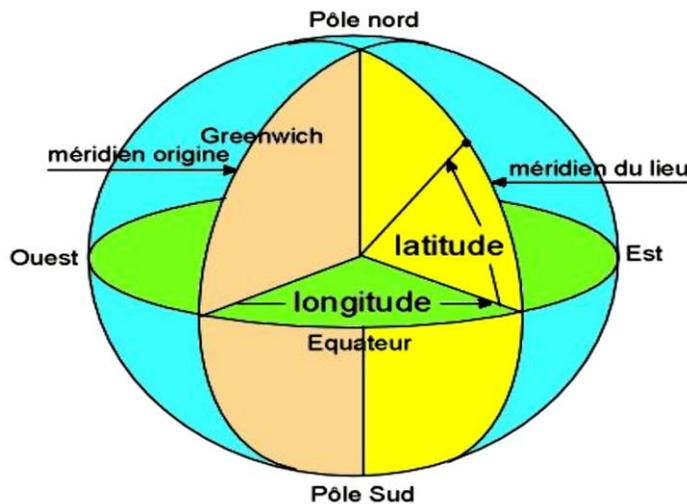


Figure .5. : Repérage d'un site sur la surface terrestre

#### 5. Les temps solaires

##### 1. Le temps solaire vrai (TSV)

Le soleil tourne dans le plan de l'équateur de  $360^\circ$  en 24 heures, soit  $15^\circ$  par heure, il existe ainsi une relation simple reliant le temps solaire vrai  $TSV$  et l'angle horaire  $\omega$  [6].

$$\omega = 15 \cdot (TSV - 12)$$

##### 2. Le temps solaire moyen (TSM)

La trajectoire de la terre autour du soleil est elliptique (première loi de Képler). Durant ce mouvement, le rayon vecteur Soleil-Terre balaie des aires égales dans des temps égaux (deuxième

loi de Képler). Tout ceci, ajouté au fait que l'axe de rotation de la terre est incliné par rapport au plan de l'écliptique, fait que la durée du jour solaire vrai varie selon les époques de l'année [1].

On introduit alors la notion de temps solaire moyen (TSM) qui varie de  $\pm 16$ mn par rapport au temps solaire vrai (TSV) ce qui correspond à l'équation de temps.

TSM est donnée par la relation suivante [6] :

$$TSM = TSV - ET$$

Ou  $Et$  est le terme correctif appelé équation de temps

Cette quantité peut être calculée par la formule suivante :

$$Et = -0,0002 + 0,4197 \times \cos(0,984j) - 7,3509 \times \sin(0,984j) - 3,2265 \times \cos(2 \times 0,984j) - 9,3912 \times \sin(2 \times 0,984j) - 0,0903 \times \cos(3 \times 0,984j) - 0,3361 \times \sin(3 \times 0,984j)$$

### 3. Le temps universel (TU)

Le temps universel est égal au temps solaire moyen du méridien origine (méridien de Greenwich). Il est exprimé ainsi :

$$TU = TSM + \frac{L}{15}$$

avec  $L$  la longitude exprimée en degré et les temps en heure.

### 4. Temps légal (TL)

L'heure légale correspond à l'heure que nous lisons aux horloges, elle est donnée par la relation suivante [1] :

$$TL = TU + C1 + C2$$

Ou,

$C1$  est le décalage horaire par rapport au Greenwich

$C2$  correspond à l'heure d'été et d'hiver, s'il y a lieu.

### 5. Lever et coucher du soleil

L'angle horaire au lever et au coucher du soleil correspond à  $h = 0$ , en remplaçant dans la formule (1.3), on trouve :

$$\omega l = (-\tan \delta \cdot \tan \varphi)$$

Selon la relation (1.7) l'heure solaire au lever du Soleil a donc pour expression :

$$(TSV)l = 12 - \frac{\omega l}{15}$$

L'angle horaire  $\omega c$  au coucher du soleil est l'opposé de l'angle horaire au lever du soleil, on a donc  $\omega c$ , l'heure solaire au coucher du Soleil a donc pour valeur :

$$(TSV)c = 12 - \frac{\omega c}{15} = 12 + \frac{\omega l}{15}$$

## 6. La durée du jour

La durée du jour est donnée par la relation suivante [6]:

$$d = (TSV) c - (TSV) l = 2 \times \frac{\omega l}{15}$$

ركزت دراستنا على تأثير المعلمات الداخلية والخارجية لجامع الشمسية المسطحة مكنت هذه الدراسة من تسليط الضوء على الخصائص المختلفة لمكونات المجمع الشمسي الذي تمت دراسته والمعلمت الخارجية التي لها تأثير على تشغيل المستشعر. لمعرفة خصائص الممتص ، العزل ، سائل نقل الحرارة ، أبعاد المستشعر والظروف الخارجية ؛ أدى الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المحيطة وسرعة الرياح وما إلى ذلك ، دراسة تأثير هذه المعلمات الداخلية والخارجية المختلفة من خلال استخدام برنامج المسرع TRNSYS ، إلى تحديد الظروف المواتية للحصول على أداء أفضل لجامع الطاقة الشمسية الذي تمت دراسته. تم التحقق من صحة نتائجنا من خلال درجة حرارة الخروج من السوائل والإشعاع الشمسي من خلال النتائج التجريبية لهذه المعلمات نفسها للحساس .

**الكلمات والعبارات الأساسية:** الإشعاع الشمسي ، معلمت الطاقة ، مجمع الطاقة الشمسية المسطح ، المحاكاة ، الاداء TRNSYS

### Summary:

Our study focused on the effect of the internal and external parameters of the flat solar collector.

This study has made it possible to highlight the various characteristics of the components of the solar collector studied and external parameters having an influence on the operation of the sensor. To know ; the characteristics of the absorber, the insulation, the heat transfer fluid, the dimensions of the sensor and the external conditions; solar irradiation, ambient temperature, wind speed etc. the study of the effect of these different internal and external parameters through the use of the metronorm program and Trnsys led to determine the favorable conditions for better performance of the solar collector studied. Our results were validated through the exit temperature of the fluid and the solar irradiation by experimental results of these same parameters and for the same studied sensor.

**Key words and phrases:** Solar irradiation, energy parameters, flat solar collector, trnsys, simulation, performance.

### Résumé :

Notre étude a porté essentiellement sur l'effet des paramètres internes et externes du capteur solaire plat.

Cette étude à a permis de mettre en évidence les différentes caractéristiques des composants du capteur solaire étudié et paramètres externes ayant une influence sur le fonctionnement du capteur. À savoir ; les caractéristiques de l'absorbeur, de l'isolant, du fluide caloporteur, les dimensions du capteur et les conditions externes ; irradiation solaire, la température ambiante, la vitesse du vent etc. l'étude de l'effet de ces différents paramètres internes et externes à travers l'utilisation du programme météonorm et de Trnsys ont conduit à déterminer les conditions favorables à de meilleurs performances du capteur solaire étudié. Nos résultats ont été validés à travers la température de sortie du fluide et de l'irradiation solaire par des résultats expérimentaux de ces mêmes paramètres et pour le même capteur étudié.

**Mots et phrases clés :** Irradiation solaire, paramètres énergétiques, capteur solaire plat, trnsys, simulation, performances.

