

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

FACULTE : *DES SCIENCES*
DEPARTEMENT : *PHYSIQUE*
N° :/2018.....



DOMAINE : Sciences de la matière
FILIERE : physique
OPTION : Physique Energétique
et Energies Renouvelables

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par: ZEGHBA youssouf

Intitulé

**Etude numérique de l'effet des paramètres
externes et internes sur les performances
thermiques d'un capteur solaire**

Soutenu le 24 / 06 /2018 devant le jury composé de:

TALOUB Djedid	Université Med BOUDIAF M'sila	Président
BOURAS Abdelkarim	Université Med BOUDIAF M'sila	Rapporteur
BEN MANSOUR Nadia	Université Med BOUDIAF M'sila	Examinateur

Année universitaire : 2017/2018

Remerciements

Avant tout, je remercie **ALLAH**, le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail de recherche.

Je remercie le docteur **BOURAS Abdelkarim** d'avoir accepté d'être mon encadreur de mémoire, ses conseils et son soutien ont été pour moi un vrai support scientifique et personnel.

J'adresse mes remerciements à monsieur le président de jury et messieurs les membres de jury d'avoir accepté de me faire l'honneur de juger ce travail et de participer au jury de ce mémoire.

A travers ce modeste travail, nous tenons à remercier vivement notre promoteur «Dr. **TALOUB Djedid** ».

Je tiens à exprimer ma respectueuse gratitude à tous les professeurs de l'énergétique, pour ses encouragements, et les conseils précieux et pour toutes les commodités et aisances qu'il nous a apportées durant notre étude et réalisation de ce projet.

Tous mes remerciements et mon estime à tous les professeurs et enseignants du département de physique.

Sans omettre bien sûr de remercier profondément tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation du présent travail.

Zeghba youssouf

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

A mes chères parents.

Qui mon toujours soutenu dans mes études,

A mes amis , SERIBLI Houssam, TAHMI sadam , LAIFA islam .

Aux quelles je dédie cette thèse.

A tous mes enseignants chacun avec son nom

A tous mes collègues chacun avec son nom

A chaque personne qui m'a aidé.

Table des matières

Introduction générale

Chapitre I : Le gisement solaire

Introduction	4
I.1.Soleil	4
I.1.1. Présentation générale	4
I.2. L'énergie solaire	6
I.2.1.Origine	6
I.2.2. Captation	6
I.3.Mouvements du soleil	7
I.4. Coordonnées célestes	8
I.4.1. coordonnées géographiques	8
I.4.2.coordonnées horaires	8
I.4.3.coordonnées horizontales	9
I.5. Temps solaires	9
I.6.Constante solaire	10
I.7. Irradiation solaire	11
I.7.1.irradiation hors atmosphère	11
I.7.2. Rayonnement solaire au niveau du sol	11
I.7.2.a. Rayonnement direct	11
I.7.2.b. Rayonnement diffus	12
I.7.2.c. Rayonnement global	12
I.8. Rayonnement solaire	13
I.8.1.Rayonnement solaire direct	13
I.8.2. Rayonnement solaire diffus	14
I.8.3. Le rayonnement global	15
I.9. albédo	16
I.10. Modèles mathématiques pour l'estimation de l'éclairement solaire	16
I.10.1. Modèle de Rein dl	16
I.10.2.Modèle de Klucher	17
I.10.3. Modèle de Jordan	17

Chapitre II : paramètre et fonction d un capteur

II.1. Différents des captations	21
II.1.1 Distillateur	21
II.1.2.Capteur plan sous vide	21
II.1.3 Capteurs solaires Thermique	22
II. 1. 3. a. Principe	22
II. 1. 3. b. Les différents types de capteurs plans solaires	22
II. 1. 3 .b. 1. Les capteurs plans sans vitrage	22
II. 1. 3. b.2. Capteurs plans vitrés	23
II.2. Fonctionnement d'un capteur solaire plan	23
II.3. Comparaison entre les rendements de différents types de capteurs solaires	23
II.4. Les différents composants d'un capteur solaire à eau	24
II.4.1.Vitrage	25

II.4.2. Absorbeur	25
II.4.3.Fluide caloporteur	27
II.4.4.Isolant thermique	27
II.4.5. Coffre	28
II.5. Différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire	28
II.5.1. Conduction	29
II.5.2.Convection	30
II.5.3.Rayonnement	31

Chapitre III : Etude Théorique D'un Capteur

Etude Théorique D'un Capteur	33
III.1. fonctionnement du capteur utilisé	33
III.2.Les caractéristiques thermo physiques et géométriques	34
III. 3.Bilan thermique du capteur	35
III. 3.1.Hypothèses	35
III.3.2 .Analogie électrique	36
III.3.3.Mise en équations pour chaque nœud	38
III.4. Simulation du capteur	38
III.4.1. Fonctionnement des équations	39
III. 5. Evaluation des déperditions thermiques du capteur	42
III. 5.1. Pertes à l'avant du capteur	42
III. 5.1.1. Pertes à l'avant du capteur	42
III. 5.1. 2. Pertes à l'arrière du capteur	44
III. 5.1.3. Pertes par les faces latérales du capteur	44
III.5.2. Rendement du capteur	45
III.5.2.1. Distribution de la température du fluide caloporteur	45
III. 6.Organigramme	49

Chapitre IV : Résultats et Discussion

IV.1 Effet de l'épaisseur de la vitre	55
IV.2 Variation de rendement du capteur en fonction de l'épaisseur du vitre durant la journée	58
IV.3 Effet de l'albédo	58
IV.3.1 la mère	59
IV.3.2 la Sahara	59
IV.3.3 biton	60
IV.3.4 Effet de l'albédo sur le rayonnement solaire diffus	61
IV.3.5 Effet de l'albédo sur le rayonnement solaire direct	62
IV.3.6 Effet de l'albédo sur le rayonnement solaire global	62
IV.4 L'effet de la vitesse du vent	64
IV.4 .1L'effet de la vitesse du vent sur l'extérieure du vitre	64
IV.4.2 L'influence de la vitesse du vent sur le vitre interne	64
IV.4.3 L'effet de la vitesse du vent sur le rendement	66
IV.5 Effet de la température ambiante	67
IV.5 .1Effet de la température ambiante sur les différentes températures du capteur	67
IV.5.2 L'effet de la température ambiante sur le rendement	68

Conclusion

Référence Bibliographique

Liste des figures

Figure (I.1) Structure du soleil.....	6
Figure (I.2). Mouvement apparent du soleil.....	8
Figure (I.3) Variation mensuelle de la constante solaire.....	11
Figure (I.4) représentation rayons des diffus avec la puissance. Solaire incidente de 100watts.....	15
Figure (I.5) Schéma descriptive.....	17
Figure (II.1) Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire simple.....	21
Figure (II.2) Capteur sous vide.....	22
Figure (II.3). Lignes caractéristiques du rendement des différents types de capteurs solaire.....	24
Figure (II.4) d'un panneau solaire thermique.....	25
Figure II.5. Les différents échanges thermiques dans un capteur plan.....	29
Figure (III .1) Le capteur solaire utilisé.....	33
Figure (III .2) schéma équivalent relatif à une maille du capteur.....	37
Figure.(III.5)coupe du capteur et évolution de la température de la plaque en fonction de x.....	47
Figure (IV-1) Effet de l'épaisseur de la vitre sur la température externe de vitre.....	56
Figure (IV.2) Effet de l'épaisseur de la vitre sur la température interne de vitre.....	56
Figure (IV.3) Effet de l'épaisseur de la vitre sur la température de l'absorbeur.....	57
Figure (IV.4) Effet de l'épaisseur de la vitre sur la température de fluide caloporteur.....	57
Figure (IV.5) variation de rendement du capteur en fonction de l'epaisseur du vitre durant la journée.....	58
Figure (IV.6) variation du rayonnement solaire pour l'albédo de la mère durant la journée.....	59
Figure (IV.7) variation du rayonnement solaire pour l'albédo de la Sahara durant la journée.....	60
Figure (IV.8) variation du rayonnement solaire pour l'albédo du biton durant la journée	61
Figure (IV.9) Effet de l'albédo sur le rayonnement solaire diffus durant la journée.....	61
Figure (IV.10) Effet de l'albédo sur le rayonnement solaire direct durant la journée.....	62
Figure (IV.11) Effet de l'albédo sur le rayonnement solaire global durant la journée.....	63
Figure (IV.12) Variation du rendement instantané pour albédo.....	63
Figure (IV.13) Effet de la vitesse du vent sur le vitre externe.....	64

Figure (IV.14) Effet de la vitesse du vent sur le vitre interne.....	65
Figure (IV.15) Effet de la vitesse du vent sur la température de l'absorbeur.....	65
Figure (IV.16) Effet de la vitesse du vent sur la température de fluide caloporteur.....	66
Figure (IV.17) Effet de la vitesse du vent sur le rendement du capteur.....	66
Figure (IV.18) effet de la température ambiante sur les différentes températures du capteur.....	67
Figure (IV.19) effet de la température ambiante sur le rendement du capteur.....	68

Liste des tableaux

Tableau (I.1.) Caractéristiques principales du soleil.....	5
Tableau (I.2). Répartition spectrale du rayonnement thermique.....	14
Tableau (I.3) Valeurs des coefficients du trouble atmosphérique.....	14
Tableau (I.4) Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude.....	15
Tableau (I.5) valeurs de l'albédo du sol " ρ ".....	16
Tableau (I.6) Coefficients de corrections adimensionnelles.....	19
Tableau(III.2.1.) Caractéristique thermo physique.....	34
Tableau (III.2.2.)Caractéristique géométrique.....	34
Tableau III.2. Grandeurs thermiques et Grandeurs électriques.....	39

Nomenclature

Symbole	Désignation	Unité
A	surface	m ²
q	flux de chaleur	W
P_u	énergie utile	W
<i>m</i>	Débit massique	Kg/s
c_p	chaleur spécifique	J/kg k
T	température	°C
N	nombre du jour	-
TSV	temps solaire vrai	heure
TSM	temps solaire moyen	heure
TU	temps universel	heure
TL	temps légal	heure
<i>E_t</i>	temps corrige	heure
ΔH	décalage horaire	heure
I₀	constant solaire	W/m ²
L	latitude	degré
λ	longitude	degré
z	altitude	km
h	altitude solaire	degré
\bar{H}	rayonnement solaire moyen	W/m ²
<i>H₀</i>	Rayonnement solaire moyen hors l'atmosphère	W/m ²
\bar{k}_T	clarté	-
A_i	anisotropie	-
I_{bn}	éclairage solaire direct sur la normal	W/m ²
I_{bh}	éclairage solaire direct sur une surface horizontale	W/m ²
I_g	éclairage solaire global sur une surface incliné	W/m ²
I_b	éclairage solaire direct sur une surface inclinée	W/m ²
I_d	éclairage solaire diffuse sur une surface inclinée	W/m ²
R_b	coefficient du rayonnement direct	-
Ra	nombre de Rayleigh	-

Nu	nombre de Nusselt	-
Pr	nombre de Prandtl	-
Gr	nombre de Grashof	-

Lettre grec

Symbole	Désignation	Unité
β	angle d'inclinaison capteur	degré
δ	déclinaison solaire	degré
η	rendement	-
θ	angle d'incidence	degré
λ	conductivité thermique	W/m.k
μ	viscosité dynamique	kg/m. s
ν	viscosité cinématique	m ² /s
ρ	masse volumique	Kg/m ³
σ	constant de Stefan-Boltzmann	W/m ² k ⁴
τ	transitivité	-
ω	angle solaire	degré
α	azimut	degré
h	hauteur	degré
ε	émissivité	-

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Depuis la révolution industrielle du XIX^{ème} siècle, l'utilisation de l'énergie d'origine fossile a pris de l'ampleur, et l'exploitation de nouvelles énergies est devenue nécessaire pour subvenir aux besoins actuels de l'humanité.

En effet, le besoin en énergie à multiplier par 10 avec un accroissement à partir des années 40 du siècle dernier, ce qui a pour conséquence l'épuisement des ressources habituelles en matière d'énergie.

De plus, le réchauffement climatique est un autre effet de l'utilisation massive des hydrocarbures qui produisent des quantités élevées de gaz à effet de serre. Au XX^{ème} siècle, des chercheurs dans ce domaine ont indiqués une élévation de 0.6°C de la température moyenne de la terre et selon un rapport du GIEC (Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) en 2007, la température moyenne de la terre va augmenter de 1.8 à 4°C d'ici la fin du XXI^{ème} siècle.

A cet effet et pour mieux assurer les besoins de l'humanité en énergie, il est de rigueur d'utiliser rationnellement les énergies d'origines fossiles et de développer les énergies renouvelables qui sont permanentes et propres.

La première et principale phase de développement des énergies renouvelables était à l'occasion du choc pétrolier de 1973 et de celui de 1978, puis une phase de recul après le contrechoc de 1986, avant de reprendre un deuxième souffle en 1998 suite à la signature du protocole de Kyoto qui prédit une baisse de 5.2% des émissions des gaz à effet de serre par rapport à 1990 concernant les pays développés, et cela sur la période 2002-2012. L'année 2015 est marquée par la COP21 (Conférences of the Parties) qui a eu lieu à Paris où 195 pays présents ont adopté un texte sans précédent qui vise à limiter la hausse du réchauffement climatique à 1.5°C d'ici à 2100 par rapport à l'ère préindustrielle. Il est également question de venir en aide financièrement aux pays en développement grâce à une enveloppe qui doit atteindre 100 milliards de dollars annuels en 2020 afin de se détourner des ressources fossiles pour privilégier un modèle à bas carbone et qui met l'accent sur les énergies renouvelables.

Parmi les énergies renouvelables, l'énergie solaire est la plus dominante et aussi la plus facilement exploitable. De part la diversité de son utilisation et l'intérêt qu'elle porte à travers le monde, cette forme d'énergie a connu un grand essor ces dernières années.

Toutefois, le prix élevé de cette énergie par rapport au prix des énergies non renouvelables représente un handicap face à l'expansion de son utilisation.

L'optimisation des dispositifs solaires est parmi les solutions recommandées afin de renverser la tendance actuelle et voir l'utilisation de l'énergie solaire se répandre davantage dans le monde.

L'utilisation de l'énergie solaire la plus simple et la plus directe, est la production d'eau chaude sanitaire. C'est aussi l'une des plus anciennes, comme plusieurs dispositifs de chauffe-eau-solaires ont été inventés depuis les débuts du XXème siècle jusqu'à nos jours, plus performants les uns que les autres.

CHAPITRE I

LE GISMENT SOLAIRE

Introduction

Les ressources énergétiques mondiales peuvent être classées en [1], [2] :

- Ressources fossiles et fissiles non renouvelables qui se sont accumulées dans l'écorce terrestre au cours des ères géologiques, du fait de processus biologiques ou physico-chimiques.
- Ressources renouvelables qui trouvent leur origine dans les différents flux énergétiques naturels incidents à la surface de la terre, qui sont :
 - Le rayonnement solaire qui fournit 99.97% de sa densité thermique.
 - La chaleur interne terrestre qui fournit 0.03% de sa densité thermique.
 - Le travail des forces de gravitation.

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est à l'origine de la quasi-totalité des sources d'énergies utilisées par l'homme.

I.1.Soleil

Le soleil est la seule étoile du système solaire et la plus proche de la terre, sa lumière met environ 8 mn à nous atteindre. La deuxième étoile la plus proche est Proxima de Centaure située à 4.23 années lumières du soleil mais la grande distance qui nous sépare de cette étoile fait que le soleil soit la seule étoile qui assure la vie sur terre [1], [3].

Sur le plan humain, le soleil a une importance primordiale car il est à l'origine de la vie sur terre, en lui fournissant d'énormes quantités d'énergie, qui permet la présence de l'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement solaire est aussi responsable du climat et des phénomènes météorologiques [1].

I.1.1.Présentation générale

Le soleil est une étoile naine de forme pseudo-sphérique comparable à une immense boule de gaz très chauds qui se compose de 80% d'hydrogène et de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus [1], [4].

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 [1],[4].

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

Tableau (I.1.) Caractéristiques principales du soleil

Diamètre (km)	1392000
Masse (kg)	2.10^{30}
Surface (km ²)	$6,09.10^{21}$
Volume (km ³)	$1,41.10^{18}$
Masse volumique moyenne (kg/m ³)	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	$2,5.10^{17}$

Le soleil n'est pas une sphère homogène, il est constitué de :

- Le noyau contient 40% de la masse du soleil, c'est là où se crée 90% de son énergie sous forme de rayons gamma et X, tout le rayonnement émis dans cette région est totalement absorbé par les couches supérieures, cette zone s'étend sur une épaisseur de 25.10^4 km, elle présente les caractéristiques suivantes [5], [6] :

- Une température de 15.10^6 °C.
- Une densité est de 1015 kg/m^3 .
- Une pression de 109 atm.

- La zone radiative où la chaleur produite se propage par une diffusion radiative, elle présente les propriétés suivantes [6], [7] :

Une épaisseur de 244160 km.

Une température variant de 10.10^6 °C à 50.10^4 °C.

- La zone de convection où la chaleur produite se propage par une convection turbulente, elle présente les propriétés suivantes [5], [6] :

- Une température comprise entre 50.10^4 °C à 6400 °C.
- Une épaisseur de l'ordre 199758 km.

- La photosphère est une couche opaque, les gaz qui la constitue fortement ionisés et capables d'absorber et d'émettre un spectre continu de radiation et 99% du rayonnement total principalement dans le visible et c'est elle humain perçoit. Elle présente les caractéristiques suivantes [8] :

- La température de surface décroît de 6400 °C à 4500 °C.
- Une épaisseur de 500 km.
- Une pression de 1/100 atm.

La chromosphère constitue avec la couronne l'atmosphère du soleil, cette couche présente les caractéristiques suivantes [7], [8] :

- Une épaisseur 2000 km.
- Une température augmentant de 4200 °C à 10⁴ °C.

La couronne est la dernière couche du soleil, ses caractéristiques sont

- Elle est sans limite précise.
- La température augmente de 10⁶ °C à 2.10⁶ °C.

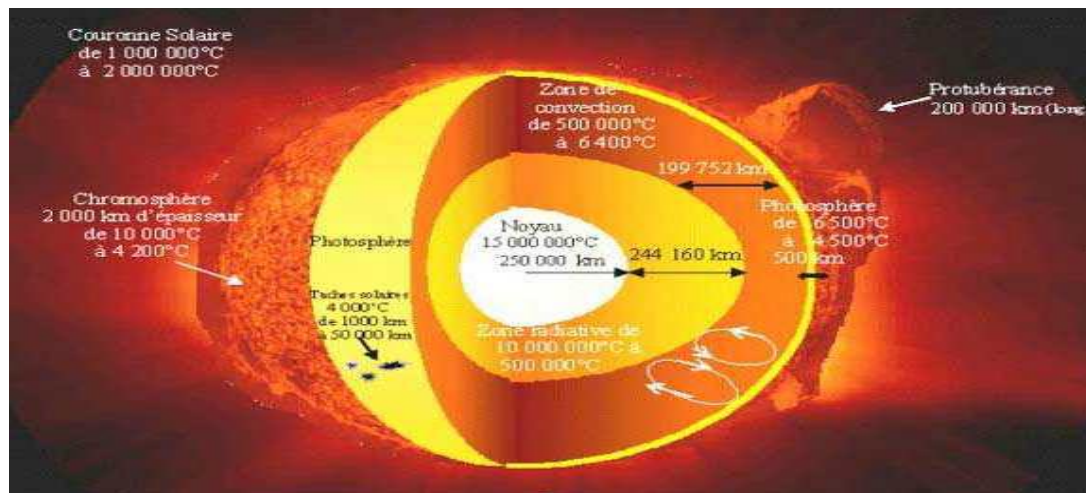


Figure (I.1) Structure du soleil

I.2.L'énergie solaire

I.2.1. Origine

Les conditions résidantes au cœur du soleil favorisent l'interaction des différents atomes d'hydrogène qui subissent une réaction de fusion thermonucléaire. Le résultat de ce processus, lorsqu'il se répète est la fusion de quatre noyaux d'hydrogène en un noyau d'hélium avec émission d'énergie sous forme de rayonnements gamma et X. Chaque seconde, 564 millions de tonnes d'hydrogène se transforment en 560 millions de tonnes d'hélium, cette différence de 4 millions de tonnes par seconde correspond à la différence d'énergie de liaison entre les protons d'hydrogène et ceux d'hélium donnant un énergie sous forme de rayonnement, estimée à $3.7.10^{26}$ j/s.

I.2.2. Captation

Il existe différentes techniques pour capter une partie de cette énergie à savoir:

- **L'énergie solaire thermique**

Le thermique solaire est un procédé de transformation de l'énergie solaire en une forme thermique, qu'on peut utiliser :

- En usage direct de la chaleur : chauffe-eau solaire, chauffage solaire, cuisinière et séchoir solaire.
- En usage indirect où la chaleur sert pour un autre usage : centrales solaires thermodynamiques, froid solaire.

- **L'énergie solaire thermodynamique**

La solaire thermodynamique utilise le solaire thermique pour produire de l'électricité selon le même principe qu'une centrale électrique classique mais en utilisant des centrales hélios thermoélectriques [9].

Trois types principaux de centrales sont utilisés [9]:

- Les centrales à capteurs cylindro - paraboliques pour atteindre des températures entre 300 et 350 °C.
- Les centrales à capteurs paraboliques pour atteindre des températures de 1000°C ou plus.
- Les centrales à tour pour atteindre 1000 °C.

- **L'énergie solaire photovoltaïque**

Elle permet de produire de l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque [9]. Les photopiles utilisent l'effet photovoltaïque, elles sont formées d'une couche d'un matériau semi-conducteur et d'une jonction semi-conductrice. Le silicium est le plus employé ; cependant, l'arséniure de gallium offre des meilleures performances, mais reste beaucoup plus onéreux [9].

I.3.Mouvements 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 apparaît 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 (I.2).

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

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

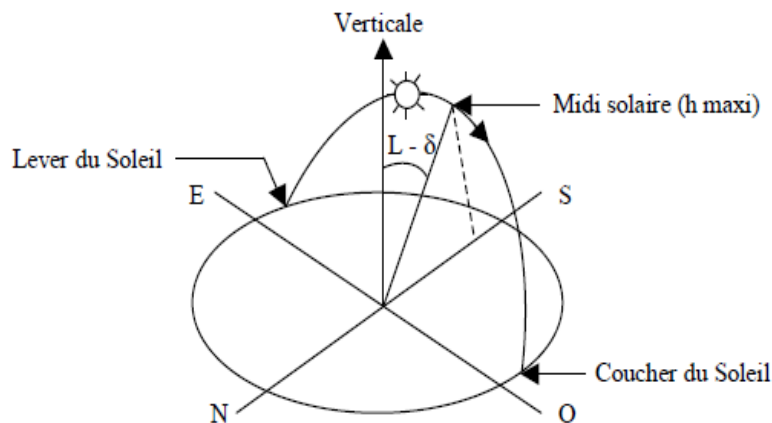


Figure (I.2). Mouvement apparent du soleil

I.4. coordonnées célestes

I.4.1. coordonnées géographiques

- **La longitude λ** , est comptée positivement vers l'Est et négativement vers l'Ouest, à partir du méridien Greenwich, elle varie de -180° à $+180^\circ$ de l'ouest à l'est.
- **La latitude (L)**, permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle varie de 0° à 90° dans hémisphère Nord et de 0° à -90° dans hémisphères Sud.
- **L'altitude (Z)** correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de Référence, le géoïde, figurant le niveau moyen de la mer.

I.4.2. coordonnées horaires

- **La déclinaison δ** , c'est l'angle fait par le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle varie au cours de l'année de $+23^\circ 27'$ à $-23^\circ 27'$ et détermine inégalité des durées des jours. Elle s'obtient à partir de la formule suivante:

$$\delta = 23.45 \times \text{SIN} \left(\frac{360}{365} \times (n - 81) \right) \quad (I.1)$$

n : le numéro du jour dans l'année compte à partir du 1^{er} Janvier.

- **L'angle horaire ω** : il est déterminé par la rotation régulière de la terre autour de son axe.

I.4.3. coordonnées horizontales

- **La hauteur h** , ou l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection. Il est compris de 0° à 90° vers le zénith. Il est donné par la relation :

$$\sin h = \sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta \cos \omega \quad (I.2)$$

- **L'azimut α** ou l'angle que fait la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal avec la direction sud. Il est compris de 0° à 180° à partir du sud vers l'ouest. Il est donné par la relation :

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos h} \quad (I.3)$$

I.5. Temps solaires

On distingue :

- Le temps solaire vrai (TSV) local corrigé de l'équation du temps, donnée astronomique universelle liée à l'excentricité de l'orbite de la terre au tour du soleil, il est donné par l'expression:

$$TSV = 12 + \frac{\omega}{15} \quad (I.4)$$

- Le temps solaire moyen (TSM) est donné par [1]:

$$TSM = TSV - E_t \quad (I.5)$$

E_t est l'équation du temps qui corrige le TSV par rapport au TSM [1]:

$$E_t = 9.87 \times \sin\left(2 \times (n - 81) \times \frac{360}{365}\right) - 7.53 \times \cos\left((n - 81) \times \frac{360}{365}\right) - 1.5 \times \sin\left((n - 81) \times \frac{360}{365}\right) \quad (I.5)$$

- Le temps universel (TU) est le temps moyen de Greenwich [1]:

$$TU = TSM \pm \frac{\lambda}{15} \quad (I.7)$$

$$TU = TSV - E_t \pm \frac{\lambda}{15} \quad (I.8)$$

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

$$TL = TU + \Delta H \quad (I.9)$$

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

Durée de jour : la valeur ω_l de l'angle horaire au lever du soleil obtenier en considerent $\sin h$ nule car la hoteur de soleil est egale 0 au lever et au coucher du soleil, ce qui conduit à écrire $\cos(\omega_l) = -\tan(\lambda) \tan(\delta)$

L'heure solaire au lever du soleil dance pour valeur :

$$TSV = 12 + \frac{\omega_l}{15} \quad (I.10)$$

l'angle horaire ω_c au coucher du soleil est l'opposé du l'angle horaire a son lever dance

$\omega_c = -\omega_l$ et la durée du jour vaut :

$$d = 2 \frac{(\omega_l)}{15} \quad (I.12)$$

I.6. Constante solaire

Le flux solaire moyen sur un plan perpendiculaire a la direction des rayons, places-en de hors de l'atmosphère terrestre, est appelle constante solaire I_c .

La valeur moyenne actuellement retenue est $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$

Cette valeur est la moyenne sur l'année du flux extraterrestre. En effet, la trajectoire de la terre autour du soleil étant elliptique, il s'en suit une variation saisonnière de $\pm 1.6\%$ de la distance terre soleil et donc une variation de ce flux. La relation suivante donne la valeur corrigée de la constante solaire

$$I_c = I_0 + 0.033 \text{ COS}(n \times 0.0948) \quad (I.13)$$

I_0 : la constante solaire.

n : est le numéro du jour dans le mois.

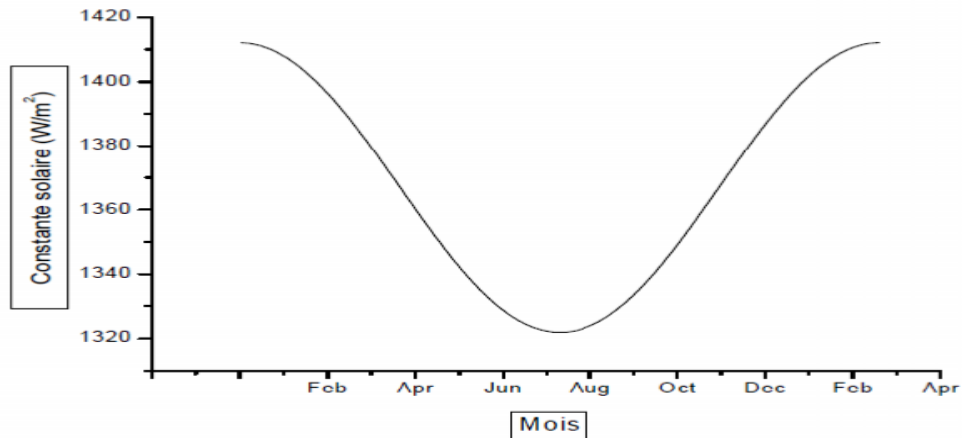


Figure (I.3) Variation mensuelle de la constante solaire [6]

I.7. irradiation solaire

On s'intéresse à présent à l'énergie captée sur une surface donnée, les quantités seront exprimées en kWh/m² de surface réceptrice [8].

I.7.1. irradiation hors atmosphère

Le rayonnement extraterrestre sur un plan horizontal est donné par l'équation suivante

$$H_0 = \frac{84600.1367}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{360}{365} n \right) \right) (\cos(L) \cos \delta \sin(ws) + ws \sin(L) \sin(\delta)) \quad (I.14)$$

L : Latitude du lieu

δ : Déclinaison solaire

w_s : l'angle horaire

n : nombre du jour.

I.7.2. Rayonnement solaire au niveau du sol

Le rayonnement solaire subit un certain nombre d'altérations et d'atténuation aléatoire en traversant l'atmosphère : réflexion sur les couches atmosphériques, absorption moléculaire, Diffusion moléculaire et diffusion par les aérosols.

Au niveau du sol, à cause de la diffusion, une partie du rayonnement est diffuse, c'est à-dire isotrope. L'autre partie, dite directe, est anisotrope. On subdivise le rayonnement Solaire parvenant au sol en trois composantes principales qui sont :

I.7.2.a. Rayonnement direct :

Rayonnement parvenant au sol sous un angle solide limité au seul disque solaire et reçu sur une surface normale à l'axe de cet angle solide [10].

I.7.2.b. Rayonnement diffus :

Rayonnement diffus par les composants de l'atmosphère parvenant de la totalité du ciel à l'exception du disque solaire.

I.7.2.c. Rayonnement global :

Rayonnement parvenant du soleil et de l'atmosphère à partir d'un angle solide 2π Ouverture reçu sur une surface horizontale.

Le rayonnement global parvenant au sol sur une surface horizontale est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus [11].

$$G=S+D \quad (I.15)$$

Avec : G : rayonnement global

S : Rayonnement diffus

D : rayonnement direct

Avant d'atteindre le sol, le rayonnement solaire est atténué par l'atmosphère terrestre et Les nuages. Le rapport entre le rayonnement au sol et le rayonnement extraterrestre est appelé indice de clarté, la moyenne mensuelle de l'indice de clarté \bar{k}_T est définie par [12]:

$$\bar{k}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \quad (I.16)$$

Avec \bar{H} : rayonnement solaire moyen, mensuel mesuré sur une surface horizontale au niveau du sol.

\bar{H}_0 : Rayonnement solaire moyen mensuel hors de l'atmosphère.

- **moyenne mensuelle diffuse**

Les moyennes mensuelles diffuses calculées à partir de l'ensoleillement global par la formule suivante :

- pour les valeurs de l'angle horaire du soleil à son coucher, c'est-à-dire, w_s inférieures à 81.4°

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.391 - 3.560 \bar{k}_T + 4.189 \bar{k}_T^2 - 2.173 \bar{k}_T^3 \quad (I.17)$$

- pour les valeurs de l'angle horaire du soleil à son coucher, c'est-à-dire, w_s supérieures à 81.4°

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.311 - 3.022 \bar{k}_T + 3.427 \bar{k}_T^2 - 1.821 \bar{k}_T^3 \quad (I.18)$$

- la moyenne mensuelle directe :

La moyenne mensuelle de l'ensoleillement \bar{H} est simplement :

$$\bar{H} = \bar{H}_b + \bar{H}_d \quad (I.19)$$

I.8. Rayonnement solaire

Les réactions thermonucléaires produites au cœur du soleil génèrent des rayonnements

Corpusculaires et électromagnétiques se propageant dans toutes les directions du vide intersidéral avec une vitesse de 3.10 m/s et couvrant toutes les longueurs d'ondes les rayons X et gamma jusqu'à l'I.R lointain. Cependant 99.9% de l'énergie se situe entre 0.2 et 8 μ m [7].

On pourra supposer avec une approximation acceptable que le soleil rayonne comme un corps noir porté à une température de 5762 K dite température apparente du soleil ne correspondant pas à la réalité physique [8].

La répartition de l'énergie solaire dans les bandes du spectre du rayonnement

Thermique est donnée dans le tableau (I.2)

Tableau (I.2). Répartition spectrale du rayonnement thermique [6]

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

I.8.1. Rayonnement solaire direct

Le rayonnement direct est le rayonnement incident sur un plan donné en provenance d'un petit angle solide centré sur le disque solaire, il parvient en ligne droite et par temps clair[11].

L'état du ciel est défini par deux coefficients, a et b qui symbolisent le trouble atmosphérique du lieu où se trouve le capteur solaire (tableau I.3).

La transmissivité totale de l'atmosphère pour le flux solaire incident direct est donnée par [12]:

$$\tau_{dir} = a \times \exp \frac{-p \times b}{1000 \times \sin(h)} \quad (I.20)$$

Où:

a, b : coefficients traduisant les troubles atmosphériques.

h: hauteur du soleil.

P : pression atmosphérique du lieu

Tableau (I.3) Valeurs des coefficients du trouble atmosphérique [10]

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

Le tableau (I.4) donne la variation de la pression atmosphérique avec l'altitude

Tableau (I.4) Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude [10]

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

Le rayonnement direct reçu sur un plan horizontal est donné par [8] :

$$G_{dirh} = C * \tau_{dir} \quad (I.21)$$

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

L'éclairement énergétique G_{dir} reçu sur un plan incliné est donné par [12]:

$$G_{dir} = G_{dirh} \times \cos\theta \quad (I.22)$$

I.8.2. Rayonnement solaire diffus

C'est une partie du rayonnement du soleil qui a subi de multiples réflexions (dispersion) par Les molécules et les aérosols de l'atmosphère ; pour un observateur au sol, le rayonnement diffus est un ensemble des directions rayonnées

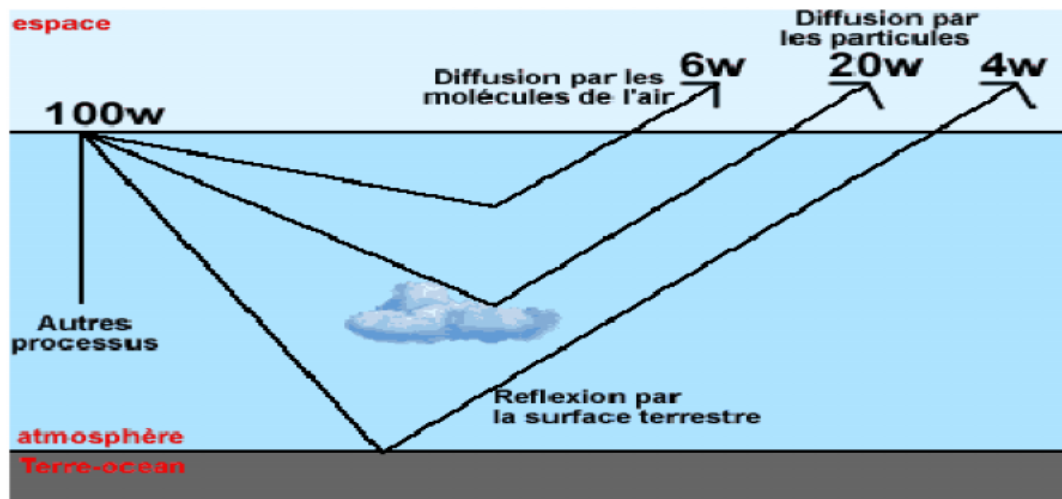


Figure (I.4) représentation rayons des diffus avec la puissance. Solaire incidente de 100 watts

Le rayonnement diffus résulte de la diffraction de la lumière par les molécules atmosphériques, et de sa réfraction par le sol, il parvient de toute la voute céleste [11].

La relation entre le coefficient de transmission du flux direct et diffus est [12]:

$$\tau_{dif} = 0.271 - 0.2939 \times \tau_{dir} \tag{I.23}$$

Le flux diffus reçu sur un plan horizontal est défini par [12]:

$$G_{dih} = C \times \sin(h) \times \tau_{dif} \tag{I.24}$$

Le flux diffus reçu sur un plan incliné est défini par [12]:

$$G_{dif} = G_{dif1} + G_{dif2} \tag{I.25}$$

$$G_{dif1} = G_{dih} \times \frac{1 + \cos(i)}{2} \tag{I.26}$$

$$G_{dif2} = \rho \times \frac{1 + \cos(i)}{2} \times (G_{dih} \times \sin(h) + G_{dih}) \tag{I.27}$$

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

ρ : Albédo du sol.

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

I.8.3. Le rayonnement global

Le rayonnement global (G) est la somme des rayonnements diffus et direct

$$G = G_{dir} + G_{dif} \tag{I.28}$$

I.9. albédo

L'albédo du sol est le rapporte de le rayonnement qui est réfléchi par le sol a le rayonnement incidente. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

$$\rho = \frac{\text{énergie réfléchie}}{\text{énergie recue}} \tag{I.29}$$

Ainsi pour un corps noir parfait, l'albédo est nul.

ρ : Albédo du sol (voir tableau I.5)

Tableau (I.5) valeurs de l'albédo du sol " ρ "

Nature du sol	Neige fraîche	Neige Ancienne	Sol rocheux	Sol cultivé	Forêt	Etendue
Valeur ρ	0.8-0.9	0.5-0.7	0.15-0.25	0.07-0.14	0.06-0.2	0.05

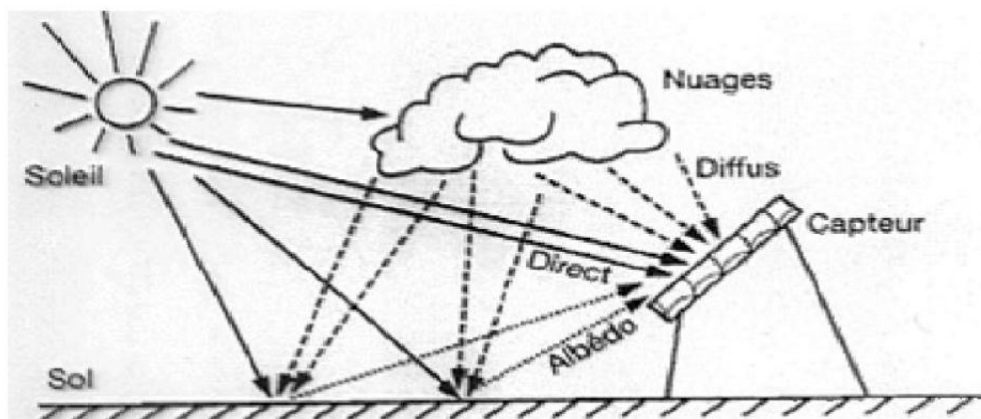


Figure (I.5) Schéma descriptive

I.10. Modèles mathématiques pour l'estimation de l'éclairement solaire

I.11.1. Modèle de Rein dl

En plus du diffus isotrope et du circumpolaire, le modèle de Rein dl tient compte également de l'horizon éclairant (Rein dl et al. 1990a, b) et emploie la même définition de l'indice d'anisotropie(A_i). L'éclairement solaire total sur une surface inclinée peut alors être calculé à l'aide.

$$I_g = (I_{bh} + I_{dh} A_i) R_b + I_{bh} (1 - A_i) \left[\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right] \left[1 + \sqrt{\frac{I_{bh}}{I_{bh} + I_{dh}}} \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] + (I_{gh}) \rho \left[\frac{1 - \cos \beta}{2} \right] \tag{I.30}$$

Telle que

I_{dh} : Éclairement diffus sur un plan horizontal.

I_{gh} : est l'éclairement global horizontal.

I_{bh} : L'éclairement direct sur une surface horizontale

I_g : L'éclairement solaire global sur une surface inclinée

A_i : coefficients dépendants uniquement du facteur de trouble

I.10.2. Modèle de Klucher

Klucher (1979) a constaté que le modèle isotopique donne de bons résultats par un ciel Couvert mais sous-estime l'irradiante dans des conditions claires et un ciel en partie couvert, quand il y a une intensité augmentée à proximité de l'horizon, et dans la région curcuma solaire du ciel.

Le modèle développé par Klucher donne l'irradiation totale sur un plan incliné :

$$I_g = I_{bh}R_b + I_{dh} \left[\frac{1+\cos(\beta)}{2} \right] \left[1 + F' \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] [1 + F' \cos^2(\beta) \sin^3(\theta_z)] + (I_{gh})\rho \left[\frac{1-\cos\beta}{2} \right] \quad (I.31)$$

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\sin h}$$

β : Angle d'inclinaison

θ_z : Angle d'incidence

$$F' = 1 - \left(\frac{I_{dh}}{I_{bh} + I_{dh}} \right)^2 \quad (I.32)$$

Le premier de ces facteurs de modification de la composante diffuse de ciel tient compte de l'horizon éclairant, le second prend en compte l'effet du rayonnement curcuma solaire. Sous un ciel couvert, l'indice de clarté F' devient 0 et le modèle se réduit à un modèle isotrope.

I.10.3. Modèle de Jordan

La relation de l'éclairement direct sur la normal

$$I_{bn} = I_c \tau_b \quad (I.33)$$

$$I_c = I_0 \left[1 - 0.033 \cos \left(\frac{360}{365} n \right) \right] \quad (I.34)$$

$$\tau_b = a_0 + a_1 \exp(-k/\sinh) \tag{I.35}$$

$$a_0 = r_0 [0.4237 - 0.00821(6 - Z)^2] \tag{I.36}$$

$$a_1 = r_1 [0.5055 - 0.00595(6.5 - Z)^2] \tag{I.37}$$

$$k = r_k [0.2711 - 0.001858(2.5 - Z)^2] \tag{I.38}$$

Où Z est l'altitude de l'observateur exprimée en km et r_0 , r_1 et r_k sont des coefficients correcteurs adimensionnels

Tableau (I.6) Coefficients de corrections adimensionnelles

Temps	r_0	r_1	r_k
Tropical	0.95	0.98	1.02
Eté (altitude moyenne)	0.97	0.99	1.02
Eté (lat.sub.Atrice)	0.99	0.99	1.01
Hiver (moyenne latitude)	1.03	1.03	1.00

La relation de l'éclairement direct sur une surface horizontale

$$I_{bh} = I_c \times \tau_b \times \sinh \tag{I.39}$$

L'éclairement diffus par ciel clair obtenu sur un plan horizontal est donné par

$$I_{dh} = I_c \times (0.2710 - 0.2939 \times \tau_b) \times \sin(h) \tag{I.40}$$

✓ **Eclairement solaire global reçu sur un plan horizontal**

$$I_{gh} = I_{bh} + I_{dh} \tag{I.41}$$

✓ **Eclairement solaire global sur un plan incliné**

$$I_g = I_{bh} R_b + \frac{I_{dh}(1+\cos\beta)}{2} + \rho(I_{bh} + I_{dh}) \frac{(1+\cos\beta)}{2} \tag{I.42}$$

CHAPITRE II:

PARAMETRE ET FONCTIONNEMENT D'UN CAPTURE

II.1. Différents des captations

II.1.1 Distillateur

Le principe de fonctionnement d'un distillateur solaire est le suivant (figure I.1)

- Le rayonnement solaire chauffe l'eau salée qui se trouve dans le distillateur.
- L'eau salée s'évapore.
- Cette vapeur se transporte par convection naturelle vers le toit du distillateur (verre)
- Elle se condense sur le verre et s'écoule suivant un film mince.

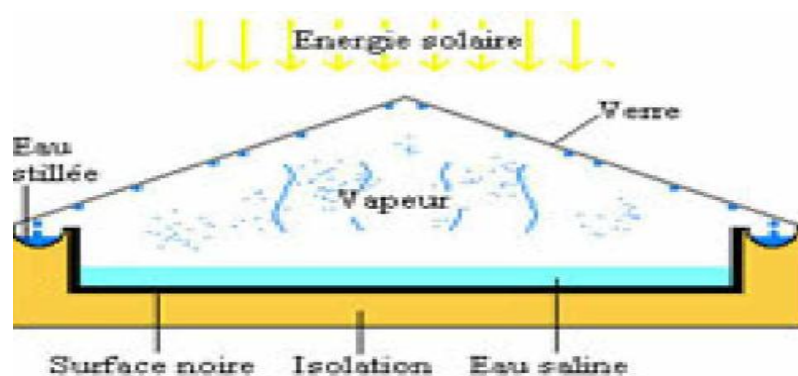


Figure (II.1) Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire simple

II.1.2. Capteur plan sous vide

Les capteurs solaires "sous vide" sont composés d'une série de tubes en verre transparents. Dans chaque tube, il y a une plaque absorbante pour capter le rayonnement solaire et un échangeur pour favoriser le transfert de l'énergie thermique. Les tubes sont mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques convectives de la plaque absorbante et la plaque absorbante reçoit un traitement sélectif pour empêcher le rayonnement à ce dissipé sous forme de grande longueur d'onde. Ainsi, on peut réaliser des capteurs solaires performants sans une isolation thermique rapportée ou un coffre de protection.



Figure (II.2) Capteur sous vide

II.1.3 Capteurs solaires Thermique

II. 1. 3. a. Principe

Le rôle d'un capteur solaire thermique est de transformer le rayonnement solaire qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable, le plus souvent par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau, air, ...).

L'énergie solaire (rayonnement) est captée par la surface absorbante du capteur solaire. Dans de nombreux types de capteurs, les revêtements sélectifs sont appliqués sur les surfaces absorbantes pour augmenter l'efficacité. Un fluide caloporteur absorbe et véhicule une partie de l'énergie captée par l'absorbeur.

II. 1. 3. b. Les différents types de capteurs plans solaires

Afin d'intercepter l'énergie provenant du rayonnement solaire, il existe plusieurs Sortes de capteurs solaires. Dans ce qui suit une brève description de trois types de capteurs solaires plans les plus usuels.

II. 1. 3. b. 1. Les capteurs plans sans vitrage

C'est le modèle le plus simple, le plus économique mais le moins performant. Il est généralement constitué d'une simple plaque de métal ou de matière plastique (absorbeur) sur laquelle sont collés plusieurs tubes porteurs de fluide caloporteur. Les capteurs plans non vitrés ne sont pas isolés sur la face avant, c'est pourquoi ils répondent mieux à des applications à basse températures (inférieure à 30°C). Le domaine d'utilisation principal de ce type de capteurs est le chauffage des piscines extérieures. Parce qu'ils n'ont pas de vitrage, ces capteurs absorbent une grande partie de l'énergie solaire. Toutefois, parce qu'ils ne sont pas isolés sur leur face avant, la grande partie de la chaleur absorbée est perdue lorsqu'il y a notamment du vent et que la température extérieure n'est pas assez

élevée. Brassé par de l'air chaud, ces capteurs absorbent la chaleur échangée en particulier au cours de la nuit lorsque la température est élevée en présence du vent à l'extérieur.

La typique intégration architecturale qu'autorise ce type de produit permet la mise en œuvre de surface plus grande, pour compenser la différence d'efficacité avec les capteurs plans vitrés, en particulier pendant l'hiver.

II. 1. 3. b.2. Capteurs plans vitrés

Les capteurs solaires plans vitrés sont très répandus. Ils existent sous formes de Capteurs à eau et de capteurs à air.

Ces capteurs conviennent mieux à des applications à température modérée où les températures souhaitées se situent entre 30°C et 70°C.

- Les capteurs à circulation d'eau sont plus couramment utilisés pour la production de l'eau chaude sanitaire à l'échelle individuelle ou collective, pour un usage industriel, ainsi que pour les piscines intérieures.
- Les capteurs à air sont utilisés pour le séchage, pour le chauffage des locaux aussi l'air de ventilation.

II.2. Fonctionnement d'un capteur solaire plan

Le principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan est très simple [13]: Le rayonnement solaire traverse la vitre et arrive sur l'absorbeur muni d'une surface Sélective où il est converti en chaleur à sa surface. Le fluide caloporteur qui circule dans L'absorbeur conduit la chaleur captée vers un échangeur de chaleur, à partir duquel elle est transmise au consommateur.

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

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

II.3. Comparaison entre les rendements de différents types de capteurs solaires

La figure (II.3). Compare, à l'aide de lignes caractéristiques, les valeurs des rendements des différents types de capteurs ont le capteur plan, le capteur plan sous vide et le capteur en tubes sous vide à la même irradiation globale

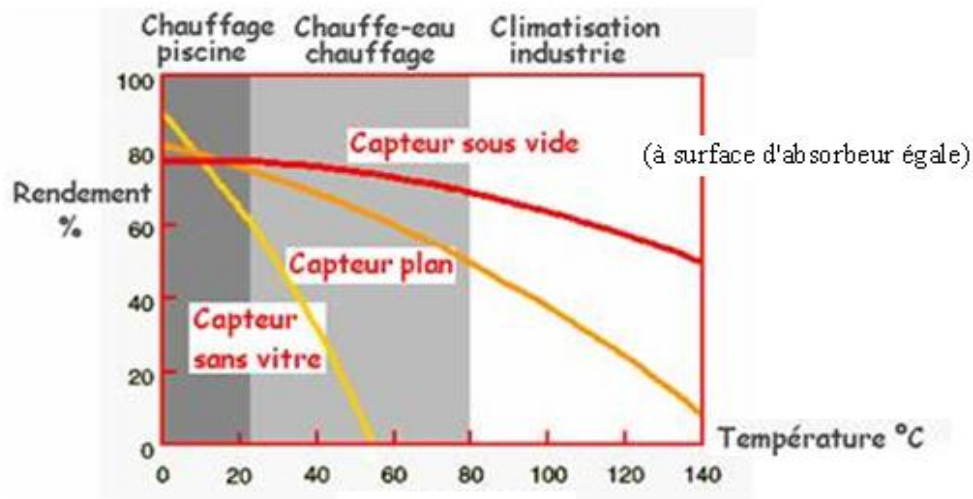


Figure (II.3). Lignes caractéristiques du rendement des différents types de capteurs solaires

- **Avantages du capteur plan**

- 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 [8].

- **Inconvénients**

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

II.4. Les différents composants d'un capteur solaire à eau

Un capteur plan est constitué essentiellement d'une couverture transparente, d'un absorbeur, d'un fluide caloporteur, d'une isolation thermique et d'un coffre

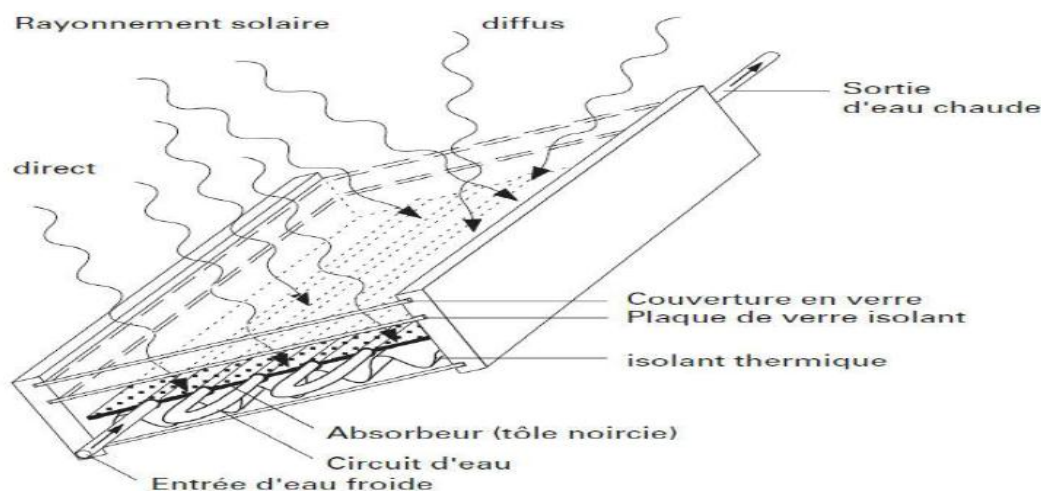


Figure (II.4) d'un panneau solaire thermique

II.4.1. Vitrage

Le verre laisse passer entre 84 et 92% du rayonnement solaire (sous l'incidence normale) selon le degré de pureté et l'utilité de recouvrir l'absorbeur par une couverture transparente est de retenir les radiations infrarouges émises par l'absorbeur, tout en laissant passer le maximum de rayonnement solaire.

Il existe deux types de vitrages : vitrage simple et vitrage double.

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

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

L'utilisation de la couverture transparente du capteur permet d'accroître son rendement et d'assurer des températures de plus de 70°C [14], en créant un effet de serre qui réduit les pertes thermiques vers l'avant de l'absorbeur,

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

II.4.2. Absorbeur

L'absorbeur est l'élément central du capteur solaire, il absorbe le rayonnement solaire global de courtes longueurs d'onde et le convertit en chaleur [1].

C'est une surface parcourue d'un réseau de tubulures, revêtue d'une peinture noire.

L'absorbeur a pour rôle de transformer en chaleur le rayonnement électromagnétique

Chapitre II Paramètre et fonctionnement d'un capteur

qu'il reçoit et de transmettre cette chaleur au fluide caloporteur. Cette surface noire doit avoir les Caractéristiques suivantes :

- Une bonne conductivité et diffusivité thermique.
- Un facteur d'absorption aussi voisin que possible de l'unité.
- Une bonne résistance chimique vis-à-vis du fluide.

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

L'emploi des matières plastiques entraîne des différences notables comparées aux métaux [1]:

- Les avantages sont :
 - La légèreté.
 - La possibilité de teinter le produit dans la masse et donc de ne pas craindre les rayures.
 - La faible sensibilité des plastiques à la corrosion.
- Les inconvénients sont :
 - Une mauvaise conductibilité thermique.
 - Un vieillissement dû au rayonnement U.V.
 - Une tenue médiocre aux températures élevées

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

L'absorbeur ne doit pas être trop mince. En pratique, on emploie généralement une feuille de cuivre ou d'aluminium de 0.2 mm d'épaisseur avec des variantes de 0.15 à 0.3mm [7].

Les canaux contenant le fluide caloporteur ne doivent pas être trop espacés ; ainsi, la transmission de la chaleur de l'absorbeur vers le fluide caloporteur se fait plus efficacement. Dans la pratique, on choisit généralement un intervalle de 100 à 120mm entre les tubes. Cela représente un compromis entre une évacuation optimale de la chaleur, une faible inertie thermique et une utilisation réduite des métaux tout en préservant des coûts de fabrication bas [7].

Il est fortement nécessaire d'assurer un bon contact entre les feuilles de l'absorbeur et les tubes du fluide caloporteur afin de réduire le plus possible la résistance thermique de contact [7].

En général, un absorbeur efficace a une bonne absorptivité ainsi que sa faible émissivité. Cependant, les surfaces métalliques tendent à réfléchir la lumière d'où une perte d'énergie. Pour résoudre ce problème, les surfaces métalliques doivent être enduites d'une surface sélective qui d'une part absorbe le rayonnement solaire de courtes longueurs d'onde avec un rendement élevé et le transforme en I.R par l'effet de décalage de Wien et qui, d'autre part ne perd que très peu d'énergie grâce à son état de surface qui agit comme un piège vis-à-vis du rayonnement I.R (≤ 0.15 , ≥ 0.9). Cette surface n'est considérée comme surface noire que pour la lumière solaire, pour les I.R elle agit comme un miroir [1].

II.4.3.Fluide caloporteur

Le fluide de travail est chargé de transporter la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température. Il est choisi en fonction de ses propriétés physiques et chimiques, il doit posséder une conductivité thermique élevée, une faible viscosité et une capacité calorifique élevée. Dans le cas des capteurs plans, on utilise de l'eau à laquelle on ajoute un antigel (généralement de l'éthylène glycol) ou bien de l'air. Par rapport à l'eau, l'air a les avantages suivants [1]:

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

Cependant il présente certains inconvénients, à savoir :

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

II.4.4.Isolant thermique

L'absorbeur doit transmettre l'énergie captée au fluide caloporteur en évitant les pertes thermiques par conduction, convection et par rayonnement, des différentes parties

Périphériques vers l'extérieur. Les solutions adaptées sont les suivantes :

- **Partie avant de l'absorbeur**

La lame d'air située entre la vitre et l'absorbeur se comporte comme un isolant vis-à-vis de la transmission de chaleur par conduction. Cependant, si l'épaisseur de cette lame est trop grande, une convection naturelle intervient, d'où une perte d'énergie. Pour les températures usuelles de fonctionnement du capteur plan, l'épaisseur de la lame d'air est de 2.5 cm [1]. En plaçant deux vitres, on limite les pertes dues à la réémission ainsi que les pertes par conduction et par convection [1].

- **Parties arrière et latérale**

Afin de limiter les pertes thermiques à la périphérie du capteur, on peut placer une ou plusieurs couches d'isolant qui doit résister et ne pas dégazer aux hautes températures sinon, il faut s'attendre à voir apparaître un dépôt sur la face intérieure de la couverture.

En plus d'utiliser un isolant pour minimiser les pertes thermiques on peut augmenter la résistance de contact entre la plaque, l'isolant et le coffre en évitant de presser ces surfaces les unes contre les autres car dans le cas d'une forte rugosité, il peut exister entre les deux faces en contact un film d'air qui empêche la chaleur de passer facilement par conduction [1], [7], [15].

II.4.5. Coffre

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

II.5. Différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire

Un capteur solaire met en jeu simultanément les trois modes de transfert thermique, conduction, convection et rayonnement (figure II.5).

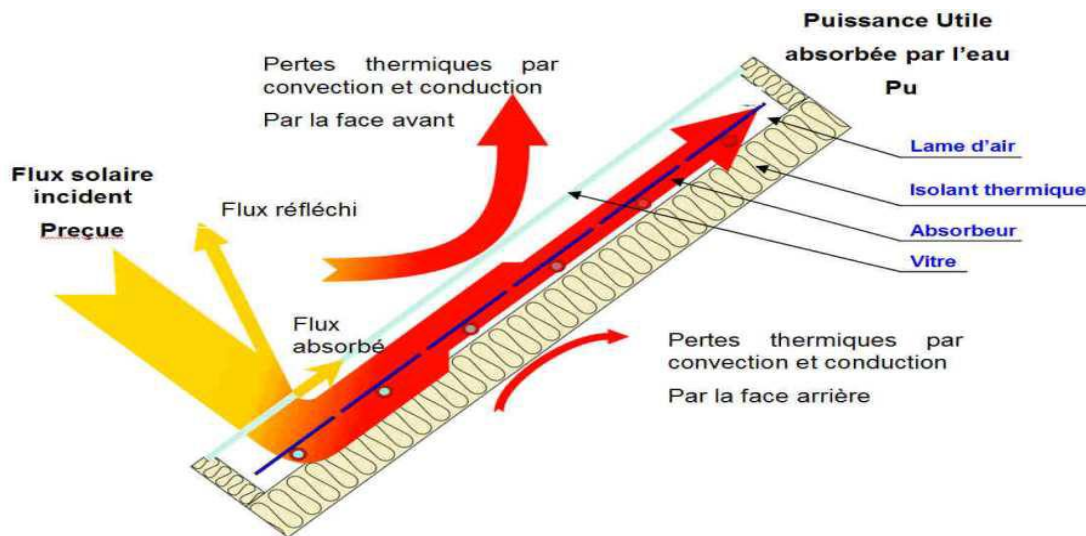


Figure II.5. Les différents échanges thermiques dans un capteur plan

II.5.1. Conduction

La conduction est le mode de transfert de chaleur caractérisé par la propagation de l'énergie thermique dans un milieu matériel sans déplacement de la matière [16].

La loi correspondant à ce processus de diffusion thermique est la loi de Fourier donnée par la relation [16].

$$q = -k \times A \times \text{grad } T \quad (\text{II.1})$$

q : flux de chaleur.

k : coefficient de conductivité thermique.

A : surface d'échange.

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

- Les faces supérieures et inférieures de la vitre k_{cv} .
- Les faces supérieures et inférieures de l'isolant k_{is} .
- L'absorbeur et l'isolant k_{cvai}

Le flux de chaleur par conduction entre l'absorbeur et l'isolant est donné par [17]:

$$q_{cdai} = \frac{T_n - T_{ii}}{\varphi_1} + \frac{T_n - T_{il}}{\varphi_2} \quad (\text{II.2})$$

φ_1 et φ_2 sont exprimés par :

$$\varphi_1 = \frac{e_{ab}}{s_{abi} \times k_i} + \frac{e_i}{s_{abi} \times k_{ab}} \quad (\text{II.3})$$

$$\varphi_2 = \frac{e_{ab}}{s_{abi} \times k_{il}} + \frac{e_{il}}{s_{abi} \times k_{abl}} \quad (II.4)$$

q_{cdai} : quantité de chaleur échangée par conduction entre l'absorbeur et l'isolant.

T_n : température de l'absorbeur.

T_{ii} : température de la face intérieure de l'isolant.

T_{il} : température de l'isolant latéral.

e_{ab} : épaisseur de l'absorbeur.

s_{abi} : surface de contact entre l'absorbeur et l'isolant horizontal.

k_i : conductivité thermique de l'isolant horizontal.

e_i : épaisseur de l'isolant horizontal.

e_{il} : épaisseur de l'isolant latéral.

K_n : conductivité thermique de l'absorbeur.

k_{il} : conductivité thermique de l'isolant latéral

II.5.2. Convection

La convection est un transport d'énergie dû à des mouvements macroscopiques [18].

- **La convection naturelle** : le mouvement du fluide est engendré par les variations de densité causées par des variations de température au sein du fluide, tel est le cas de la thermo circulation.

✓ Le transfert thermique convectif est régi par la loi de Newton [18]:

$$q = h \times S \times (T_n - T_f) \quad (II.5)$$

q : le flux échangé par convection.

h : coefficient de convection.

S : surface de la paroi solide en contact avec le fluide.

T_n : température de la paroi solide.

T_f : température du fluide.

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

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

II.5.3.Rayonnement

Le transfert de chaleur par rayonnement à lieu lorsque de l'énergie sous forme d'ondes Électromagnétiques est émise par une surface et absorbée par une autre. C et échange peut avoir lieu lorsque les corps sont séparés par le vide ou par n'importe quel milieu intermédiaire suffisamment transparent pour les ondes électromagnétiques [19].

La loi fondamentale du rayonnement est celle de Stefan-Boltzmann [19]:

$$q = \varepsilon \times \sigma \times T^4 \quad (II.6)$$

q : densité de flux de chaleur émis par le corps.

ε : émissivité thermique du matériau.

σ : constante de Stefan-Boltzmann évaluée à $5,6.10^{-8} \text{ W/m}^2.\text{K}^4$.

T : température absolue du corps.

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

- La vitre et le ciel.
- La vitre et absorbeur

CHAPITRE III :

Etude théorique d'un capteur

III. Étude théorique d'un capteur plan

III.1. fonctionnement du capteur utilisé

Le capteur solaire utilisé est un capteur plan simple vitrage, il est constitué essentiellement :

- d'une plaque de cuivre peinte en noir mat, derrière laquelle a été soudée à l'étain les tubes parallèles reliés à deux collecteurs, la matière de ces derniers ainsi que les tubes est de la cuivre.
- Fluide caloporteur, l'eau se circule de 1^{ère} collecteur au 2^{ème} à travers de ces tubes
- Un boîtier en bois recouvert de liège et remplie de laine de verre .
- Vitre, on utilise comme couverture le verre.

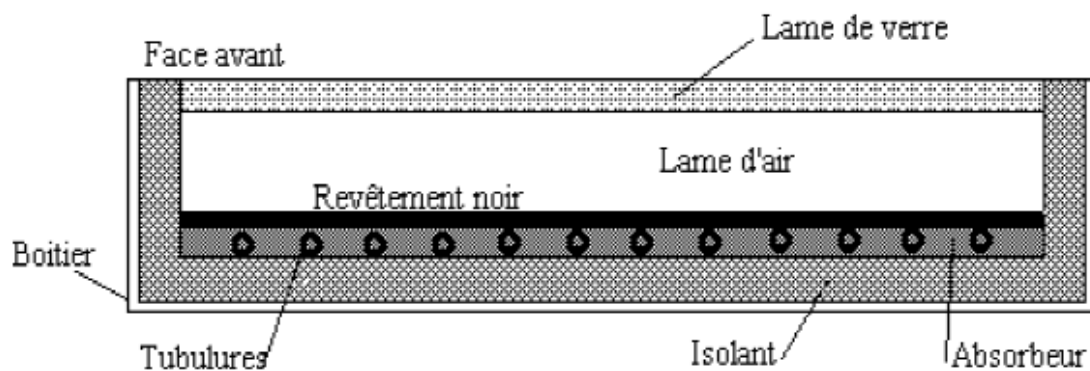


Figure (III .1) Le capteur solaire utilisé

III.2. Les caractéristiques thermo physiques et géométriques

Tableau (III.2.1.) caractéristique thermo physique

Elément de Construction	Couverture transparente	L'absorbeur	Tube	L'isolant	boitier
Matériaux	Le verre	Cuivre	Cuivre	Polystyrène expansée	Bois
Masse volumique Kg/M ²	2700	8900	/	20	535
Chaleur spécifique J/Kg.K	840	398	/	1500	0.04
Conductivité thermique W/m.k	0.93	348	/	0.04	0.144

Tableau (III.2.2.) Caractéristique géométrique

Elément de Construction	Couverture transparente	L'absorbeur	Tube	L'isolant	Boîtier
Longueur M	1	1	0.9	1	1.04
Largeur M	1	1	/	1	1.04
Epaisseur mm	3	1	/	10	20
Diamètre intérieur mm	/	12	/	/	/
Diamètre Extérieur mm	/	14	/	/	/

III. 3. Bilan thermique du capteur

Soit P_{sa} l'énergie solaire absorbée par un capteur, une partie de celle-ci est récupérée par le fluide caloporteur c'est l'énergie utile P_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 P_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 P_{st} , dépend de l'inertie thermique de l'installation. Ainsi le bilan thermique global s'écrit [1] :

$$P_{sa} = P_u + P_p + P_{st} \quad (III.1)$$

III. 3.1. Hypothèses

Pour simplifier notre étude, un certain nombre d'hypothèses ont été considérées [9] :

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

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

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

$$P_{sa} = P_u + P_p \quad (III.2)$$

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

$$P_{sa} = \tau_c \alpha_p G_t \quad (III.3)$$

Avec

τ_c : Facteur de transmission de la couverture transparente,

α_p : Facteur d'absorption de la plaque absorbante,

G_t : L'éclairement global incident sur le capteur

III.3.2 .Analogie électrique

Considérons un système ayant pour but la transmission d'énergie sous forme de chaleur sensible, Ses différents éléments sont portés à des températures différentes et échangent entre eux de la chaleur par conduction, convection et rayonnement.

Soient deux éléments S_1 et S_2 d'un système S porté à des températures T_1 et T_2 , le flux de chaleur Φ échangé entre S_1 et S_2 vérifie la relation suivante :

$$\Phi = (T_1 - T_2) / R \quad (III.4)$$

R est la résistance thermique existant entre S_1 et S_2 , elle est en fonction du type de transfert mis en cause, des matériaux utilisés, etc.....

La méthode des analogies électriques a pour fondement la ressemblance entre cette relation régissant les transferts de chaleur entre deux éléments et la loi d'Ohm qui régit les transferts de charges électriques entre deux points d'un circuit électrique et qui s'écrit :

$$I = (V_1 - V_2) / R_e \quad (III.5)$$

I : est l'intensité du courant circulant du point 1 vers le point 2.

V_1, V_2 : sont les potentiels respectifs au point 1 et 2,

R_e : est la résistance électrique du circuit entre 1 et 2.

Ce parallélisme conduit à envisager l'utilisation d'un circuit électrique comme modèle d'un système thermique. A tout élément pouvant être considéré comme homogène du point de vue de la température, on associe un point d'un circuit électrique et à tout mode de transfert de chaleur entre deux éléments de température différente, on associe une résistance électrique.

Lorsque le transfert de chaleur entre deux éléments s'opère suivant plusieurs modes simultanés (par exemple, convection et rayonnement), le circuit électrique modèle comportera des résistances en parallèle.

Lorsqu'il s'effectue suivant plusieurs modes successifs (par exemple, conduction, puis convection), le circuit électrique modèle comportera des résistances en série.

On pourra utiliser les lois de Kirchhoff :

-la résistance R équivalente à la mise en série de 2 résistances de R_1 et R_2 vérifie :

$$R = R_1 + R_2 \quad (III.6)$$

-la résistance R équivalente à la mise en parallèle de R_1 et R_2 vérifie :

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 \quad (III.7)$$

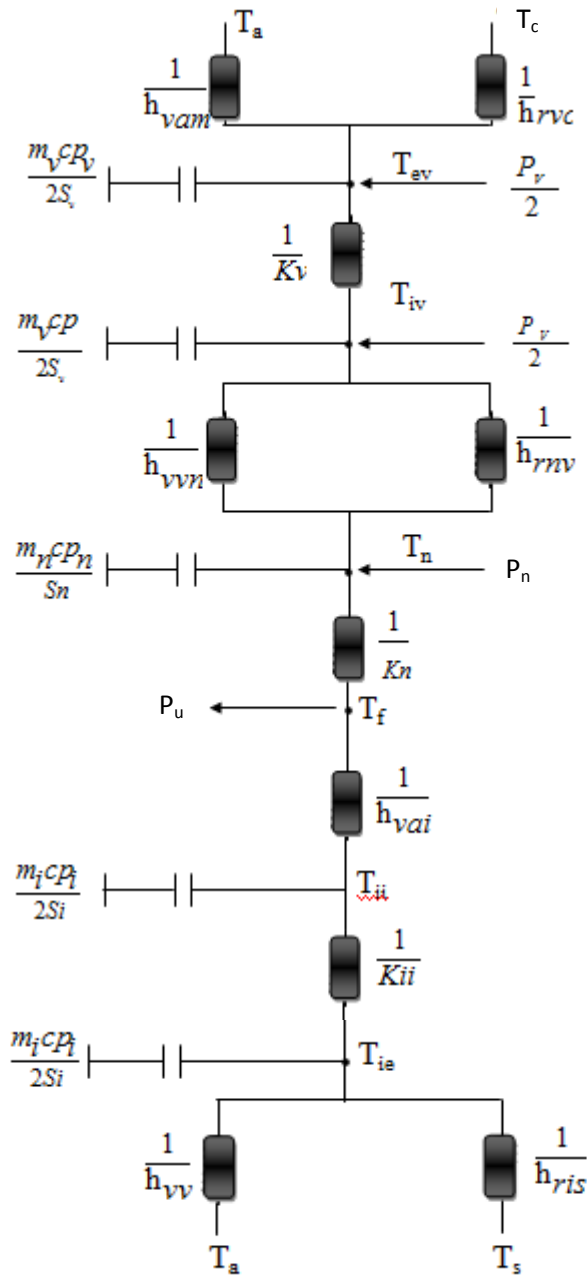


Figure (III .2) - schéma équivalent relatif à une maille du capteur

C_{pf} : Capacité calorifique massique du fluide caloporteur

C_{pV} : Capacité calorifique massique de la vitre

C_{pn} : Capacité calorifique massique de l'absorbeur

C_{pi} : Capacité calorifique massique de l'isolant

h_{vam} : Coefficient d'échange thermique par convection (vitre, air extérieure)

h_{vvn} : Coefficient d'échange thermique par convection (plaque vitre)

h_{van} : Coefficient d'échange thermique par convection (fluide absorbeur)

h_{vai} : Coefficient d'échange thermique par convection (fluide isolant)

h_{vv} : Coefficient d'échange thermique par convection (isolant ambiance)

h_{rvc} : Coefficient d'échange par rayonnement (vitre ciel)

h_{mv} : Coefficient d'échange par rayonnement (vitre absorbeur)

h_{ris} : Coefficient d'échange par rayonnement (isolant sol)

P_{sa} : Puissance absorbée par la vitre

P_n : Puissance captée par l'absorbeur

III.3.3. Mise en équations pour chaque nœud

- Echange dans l'extérieur de la vitre :

$$\frac{m_v c_p v}{surf_v} \left(\frac{dT_{ev}}{dt} \right) = p_n + h_{rvc}(T_{am} - T_{ev}) + h_{vam}(T_{am} - T_{ev}) + k_v(T_{iv} - T_{ev}) \quad (III.8)$$

- Echange dans la vitre intérieure :

$$\frac{m_v c_p v}{surf_v} \left(\frac{dT_{vi}}{dt} \right) = h_{rnv}(T_n - T_{iv}) + h_{vvn}(T_n - T_{ni}) + k_v(T_{ev} - T_{iv}) \quad (III.9)$$

- Echange dans l'absorbeur :

$$\frac{m_v c Q_{sa}}{surf_n} \left(\frac{dT_n}{dt} \right) = P_n + h_{rnv}(T_{iv} - T_n) + h_{vvn}(T_{iv} - T_n) + h_{van}(T_F - T_n) + h_{rai}(T_{ii} - T_n) \quad (III.10)$$

- Echange dans le fluide caloporteur :

$$\frac{m_F c_p F}{surf_F} (T - T^*) = h_{van}(T_n - T_F) + h_{ai}(T_{ii} - T_F) \quad (III.11)$$

- Echange dans la surface de tube à côté de l'isolant :

$$\frac{m_i c_p i}{surf_i} \left(\frac{dT_{ii}}{dt} \right) = h_{vai}(T_F - T_{ii}) + k_{ii}(T_{ie} - T_{ii}) + h_{rai}(T_n - T_{ii}) \quad (III.12)$$

- Echange paroi extérieure de l'isolant sol :

$$\frac{m_i c_p i}{surf_i} \left(\frac{dT_{ie}}{dt} \right) = k_{ci}(T_{ii} - T_{ie}) + h_{ris}(T_{sol} - T_{ie}) + h_{ii}(T_{am} - T_{ie}) \quad (III.13)$$

III.4. Simulation du capteur

La densité de flux de chaleur échangée entre un point de température T_1 et un autre point de température T_2 peut s'écrire sous la forme :

$$Q_{21} = h_{21} \cdot S (T_2 - T_1) \quad (III.14)$$

Cette expression est semblable à la loi d'Ohm, et autorise les analogies suivantes entre les grandeurs thermiques et électriques

Tableau III.2. Grandeurs thermiques et Grandeurs électriques)

Grandeurs thermiques	Grandeurs électriques
Température	Potentiel électrique
Flux thermique	Courant électrique
Resistance thermique	Resistance électrique
Capacité thermique	Capacité électrique
Densité de flux de chaleur	Densité de courant
Conductivité thermique	Conductivité électrique
Résistivité thermique	Résistivité électrique

On peut appliquer les lois d'Ohm et de Kirchhoff considérons une section spatiale
 Quelconque du système à l'instant t, soit (i) l'un des milieux représentés dans cette section
 (mi) sa masse en Kg, C_{pi} sa chaleur spécifique $\left(\frac{J}{kg.K}\right)$ et T_i sa température (k).

Le bilan thermique ou nœud i donne :

$$m_i m_i c_p \frac{\partial T_i}{\partial t} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{R_{ij}} (T_i - T_j) + p_i \tag{III.15}$$

n : ensemble de j pour lesquelles T_j est un potentiel connecte à T_i

P_i : terme source au puits.

III.4.1. Fonctionnement des équations

➤ Echange dans l'extérieur la vitre :

$$\frac{m_v c_{Qsa}}{surf_v \Delta t} (T_{ve}^{t+\Delta t}(j+1) - T_{ev}^t(j+1)) = p_{sa} + h_{rvc}(T_c - T_{ev}^{t+\Delta t}(j+1)) + h_{vam}(T_{am} - T_{ev}^{t+\Delta t}(j+1)) + k_v(T_{iv}^{t+\Delta t}(j+1) - T_{ev}^{t+\Delta t}(j+1)) \tag{III.16}$$

➤ Echange dans la vitre intérieure :

$$\frac{m_v c_{Qsa}}{surf_v \Delta t} (T_{iv}^{t+\Delta t}(j+1) - T_{iv}^t(j+1)) = h_{rvn}(T_n^{t+\Delta t}(j+1) - T_{iv}^{t+\Delta t}(j+1)) + h_{vvn}(T_n^{t+\Delta t}(j+1) - T_{iv}^{t+\Delta t}(j+1)) + k_v(T_{ve}^{t+\Delta t}(j+1) - T_{iv}^{t+\Delta t}(j+1)) \tag{III.17}$$

➤ Echange dans l'absorbeur

$$\begin{aligned} \frac{m_n c Q_n}{surf_v \Delta t} = p_n + h_{rnv} (T_{iv}^{t+\Delta t}(j+1) - T_n^{t+\Delta t}(j+1)) + h_{vvn} (T_{iv}^{t+\Delta t}(j+1) - T_n^{t+\Delta t}(j+1)) \\ + h_{van} (T_F^{t+\Delta t}(j) - T_n^{t+\Delta t}(j+1)) + h_{rai} (T_{ii}^{t+\Delta t}(j+1) - T_n^{t+\Delta t}(j+1)) \end{aligned} \quad (III.18)$$

➤ Echange dans fluide caloporteur :

$$\begin{aligned} m_F c p_F (T_F^{t+\Delta t}(j+1) - T_F^{t+\Delta t}(j)) = h_{van} (T_n^{t+\Delta t}(j+1) - T_F^{t+\Delta t}(j)) h_{vai} (T_{ii}^{t+\Delta t}(j+1) - T_F^{t+\Delta t}(j)) \end{aligned} \quad (III.19)$$

➤ Echange dans la surface de l'isolant :

$$\begin{aligned} \frac{m_i c Q_i}{surf_i \Delta t} (T_{ii}^{t+\Delta t}(j+1) - T_{ii}^t(j+1)) = h_{vai} (T_F^{t+\Delta t}(j) - T_{ii}^{t+\Delta t}(j+1)) + k_{ii} (T_{ie}^{t+\Delta t}(j+1) - T_{ii}^{t+\Delta t}(j+1)) \\ + h_{ii} (T_n^{t+\Delta t}(j+1) - T_{ii}^{t+\Delta t}(j+1)) \end{aligned} \quad (III.20)$$

➤ Echange paroi extérieure de l'isolant-sol :

$$\begin{aligned} m_i c p_i (T_{ie}^{t+\Delta t}(j+1) - T_{ie}^t(j+1)) \\ = k_{ii} (T_{ii}^{t+\Delta t}(j+1) - T_{ie}^{t+\Delta t}(j)) + h_{ris} (T_{sol} - T_{ie}^{t+\Delta t}(j+1)) \\ h_{vv} (T_{am} - T_{ie}^{t+\Delta t}(j+1)) \end{aligned} \quad (III.21)$$

On obtient un système d'équation de 6 inconnus.

$$B_{ij} * T_i = F_c$$

Avec

$$j=1 \dots \dots \dots 6, i=1 \dots \dots \dots 6$$

Tel que :

$$\begin{aligned} B_{11} &= \frac{m_v c p_v}{surf_v \Delta t} + h_{rvc} + h_{vam} + k_v \\ B_{12} &= -k_v \\ B_{13} &= B_{14} = B_{15} = B_{16} = 0 \\ F_1 &= h_{vam} T_{am} + p_v + h_{rnv} \cdot T_c + \frac{m_v c p_v}{surf_v \Delta t} \cdot T_{ev}^t(j+1) \\ B_{21} &= -K_v \\ B_{22} &= \frac{m_v c p_v}{surf_v \Delta t} + h_{rnv} + h_{vvn} + k_v \\ B_{23} &= -(h_{rnv} + h_{vvn}) \\ B_{24} &= B_{25} = B_{26} = 0 \end{aligned}$$

$$F_2 = \frac{m_v cp_v}{\text{surf}_v \Delta t} T_{iv}^t(j+1)$$

$$B_{31} = 0$$

$$B_{32} = -(h_{vvn} + h_{rnv})$$

$$B_{33} = \frac{m_n cp_n}{\text{surf}_v \Delta t} + h_{rnv} + h_{vvn} + h_{van} + k_n$$

$$B_{34} = 0$$

$$B_{35} = -k_n$$

$$F_3 = p_n + \frac{m_n cp_n}{\text{surf}_v \Delta t} \cdot T_n^t(j+1) + h_{van} T_f^{t+\Delta t}(j)$$

$$B_{41} = B_{42} = 0$$

$$B_{43} = -h_{van}$$

$$B_{44} = \frac{m_f cp_f}{\text{surf}_f}$$

$$B_{45} = -h_{vai}$$

$$B_{46} = 0$$

$$F_4 = \left(\frac{m_f cp_f}{\text{suef}_f} - h_{vai} - h_{van} \right) T_F^{t+\Delta t}(j)$$

$$B_{51} = B_{52} = B_{54} = 0$$

$$B_{53} = -h_{vai}$$

$$B_{55} = \left(\frac{m_i cp_i}{\text{surf}_i \Delta t} + h_{vai} + K_{ii} + h_{ci} \right)$$

$$B_{56} = -K_{ci}$$

$$F_5 = \frac{m_i cp_i}{\text{surf}_i \Delta t} T_{ii}^t(j+1) + h_{vai} T_F^{t+\Delta t}(j)$$

$$B_{61} = B_{62} = B_{63} = B_{64} = 0$$

$$B_{65} = -K_{ii}$$

$$B_{66} = \left(\frac{m_i cp_i}{\text{surf}_i \Delta t} + h_{vv} + K_{ci} + h_{ris} \right)$$

$$F_6 = \frac{m_i cp_i}{\text{surf}_i \Delta t} T_{ie}^t(j+1) + h_{ris} T_{sol} + h_{vv} T_{am}$$

III. 5. 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. 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.

III. 5.1. Pertes à l'avant du capteur

III. 5.1.1. Pertes à l'avant du capteur

- **Echange de chaleur entre la vitre et le milieu extérieur**

Comme les pertes entre la vitre et le milieu extérieur sont dus essentiellement au transfert de chaleur par convection et par rayonnement

$$p_p = (h_{rvc} + h_{vam})(T_c - T_a) \quad (III.22)$$

$$h_{rvc} = \frac{\sigma \epsilon c (T_a^4 - T_c^4)}{T_c - T_a} \quad (III.23)$$

Avec

$$\begin{aligned} T_c &= 0.0552 T_a^{1.5} ; \\ h_{vam} &= 5.67 + 3.86 V_{vent} \end{aligned} \quad (III.24)$$

V_{vent} : vitesse du vent

Ce qui nous permet d'écrire l'équation sous la forme :

$$p_{p1} = h_{vam}(T_c - T_a) + \sigma \epsilon c (T_a^4 - T_c^4) \quad (III.25)$$

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

$$R_1 = \frac{1}{h_{rvc} + h_{vam}} \quad (III.26)$$

- **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

$$p_{p2} = (h_{vvn} + h_{rvn})(T_n - T_{iv}) \quad (III.27)$$

Où,

$$h_{vvn} = \frac{\sigma(T_n + T_{iv})(T_n^2 + T_{iv}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad (\text{III.28})$$

ε_c : Emissivité du verre ;

ε_p : Emissivité de l'absorbeur ;

Pour déterminer le coefficient de convection h_{rnv} , les corrélations suivantes seront utilisées [9] :

$$Nu = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708(\sin 1.8 \beta)^{1.6}}{Ra} \right] \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right] + \left[\left(\frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] \quad (\text{III.29})$$

Avec,

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

Ra : le nombre de Rayleigh

$$Ra = \frac{g(T_n - T_{iv})L_c^3}{T_m \nu_a \alpha_a} \quad (\text{III.30})$$

Où,

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

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

$$T_m = \frac{T_n + T_{iv}}{2} \quad (\text{III.31})$$

Elle permet d'évaluer les caractéristiques de l'air ($\rho_a, \mu_a, \lambda_a, C_{pa}$).

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

α : la diffusivité thermique de l'air $\alpha = \frac{\lambda_a}{\rho_a C_{pa}}$

$$Nu = \frac{h_{vvn} \cdot L_c}{\lambda_a} \quad (\text{III.32})$$

D'où on tire le coefficient de convection

$$h_{vvn} = Nu \frac{\lambda_a}{L_c} \quad (\text{III.33})$$

La résistance R_2 peut être écrite :

$$R_2 = \frac{1}{h_{rnv} + h_{vvn}} \quad (\text{III.34})$$

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

$$U_{av} = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad (\text{III.35})$$

III. 5.1. 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 :

$$P_{p,ar} = \frac{(T_n - T_{ii})}{\frac{e_{ii}}{k_{ii}}} \quad (III.36)$$

Ainsi, on peut ainsi définir le coefficient de pertes arrières U_{ar} tel que :

$$U_{ar} = \frac{1}{R_4} = \frac{k_{ii}}{e_{ii}} \quad (III.37)$$

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

III. 5.1.3. 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 :

$$P_{p,lat} = \frac{(T_n - T_{ii})}{\frac{e_{islat}}{k_{ii}}} \quad (III.38)$$

Où,

A_c : Surface du capteur ;

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

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

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

$$U_{lat} = \frac{k_{ii} A_{lat}}{e_{ii} A_c} \quad (III.39)$$

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

$$U_L = U_{av} + U_{ar} + U_{lat} \quad (III.40)$$

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

$$P_p = U_L (T_n - T_a) \quad (III.41)$$

En remplaçant l'équation (III.40) dans l'équation (III.41) on obtient l'expression de l'énergie utile suivante :

$$Pu = \tau_c \alpha_p G_t - U_L (T_n - T_a) \quad (III.42)$$

En remplaçant l'équation(III.41) dans l'équation (III.42) on obtient l'expression du rendement instantané du capteur en fonction de la température moyenne de la plaque absorbante :

$$\eta = \tau_c \alpha_p - U_L (T_n - T_a) / G_t \quad (III.43)$$

G_t : Rayonnement solaire global

III.5.2. Le rendement du capteur

III.5.2. 1. Distribution de la température du fluide caloporteur

Il paraît plus judicieux de chercher à déterminer le rendement du capteur en fonction non pas de la température T_n de l'absorbeur, mais plutôt en fonction de la température T_{fe} du fluide à l'entrée du capteur.

En réalité, la plaque est soumise à un champ de température non uniforme, constant en régime permanente, en première approximation, on peut négliger les variations de la température suivant Y et Z peut alors écrire :

$$\frac{dT_n}{dy} = \frac{dT_n}{dz} = 0 \quad (III.44)$$

Cela revient à considérer que la température de la plaque ne dépend que de x .

Néanmoins on la considérera constante pour la partie située au dessus d'une tuyauterie, c'est-à-dire sur une longueur De , la température de la plaque n'est donc supposée varier que sur la longueur $2L$ correspondant à l'intervalle séparant deux tuyauteries.

Pour déterminer l'évolution de cette température, on écrit l'équation de la chaleur relative à un élément de plaque d'épaisseur δ , de largeur dx et de longueur L située à la côte x entre deux tuyauteries.

$$\rho_p c_p \frac{dT_n}{dt} = \lambda_p \Delta T_n + \frac{p_u}{\delta} = 0 \quad (III.45)$$

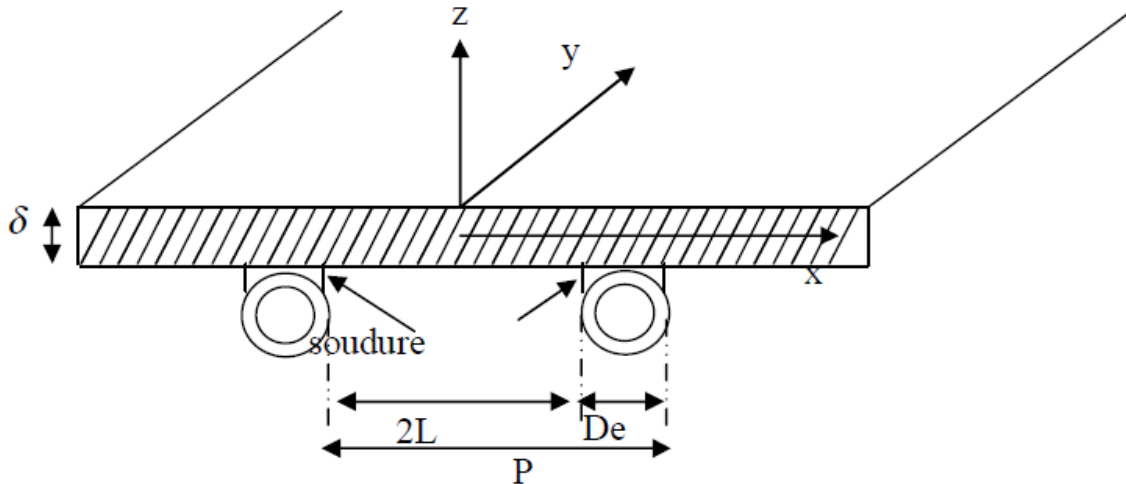


Figure.(III.5)coupe du capteur et évolution de la température de la plaque en fonction de x

Avec k_n représente la conductivité thermique du matériau constituant la plaque absorbante en régime permanent on a :

$$\frac{dT_n}{dt} = 0 \tag{III.46}$$

On à

$$P_u = P_p - P_a \tag{III.47}$$

La température T_n étant indépendante des variables y et z . Le Laplacien de la température s'écrit

$$\Delta T_n = \frac{d^2 T_n}{dx^2} \tag{III.48}$$

L'équation de la chaleur devient alors :

$$\frac{d^2 T_n}{dx^2} = \frac{k}{\lambda_n \delta} \left[T_n - \left(T_a - \frac{p_p}{k} \right) \right] \tag{III.49}$$

La résolution de cette équation différentielle du second ordre nécessite la connaissance de deux conditions aux limites. Par la symétrie on a :

$$\frac{dT_n}{dx} = 0 \tag{III.50}$$

D'autre part on fait l'hypothèse que la température de la soudure T_s est égale à la température T_n locale. Supposée constante sur la longueur correspondant au diamètre extérieur de la conduite donc :

$$T_n = T_s \text{ que } : x=L$$

En posant

$$m^2 = \frac{k}{k_n \delta} \quad (III.51)$$

La solution de l'équation différentielle :

$$T_n(x) = T_a + \frac{p_p}{k} + \left[T_s - \left(T_a + \frac{p_p}{k} \right) \right] \frac{\text{ch}(m, x)}{\text{ch}(m, L)} \quad (III.52)$$

Pour déterminer la puissance thermique p_f absorbée par le fluide caloporteur par mètre de longueur de tuyauterie cette puissance est égale à l'apport solaire P_n diminué des pertes thermiques P_a et augmenté des apports par conduction thermique ; le bilan est :

$$P_f = (p_p - p_a) D_e - 2\lambda_p \delta \frac{dT_p}{dx} \quad (III.53)$$

Posons
$$n_L = \frac{th(mW)}{mw}$$

th : Tangente hyperbolique

P_f : La puissance thermique absorbée par le fluide caloporteur

On obtient alors

$$P_f = [p_p - k(T_s - T_a)](D_e + 2Ln_L) \quad (III.54)$$

γ : Le périmètre mouillé de la conduite : $\gamma = \pi D_i$ et le D_i diamètre intérieur du conduit.

h_{cf} : coefficient par convection par le fluide.

On obtient alors :

$$P_f = [p_p - k(T_f - T_a)PF] \quad (III.55)$$

$$P = D_e + 2L \quad (III.56)$$

$$F = \frac{1}{\frac{p}{(D_e + 2Ln_L) \gamma h_{cf}} + \frac{pk}{\gamma h_{cf}}} \quad (III.57)$$

F : appelé rendement d'irrigation

Ce facteur correspondant au rapport de la résistance thermique plaque absorbante-air ambiante sur la résistance thermique fluide-air ambiante.

* considérons à présent un volume élémentaire du fluide. L'équation de bilan thermique

$$m c_p dT_f = Q f dy \quad (III.58)$$

m : Débit massique du fluide caloporteur

c_p : La capacité calorifique du fluide

$$\frac{dT_f}{T_f - T_a - \frac{p_p}{k}} = - \frac{P.F.K}{m c_p} dy \quad (III.59)$$

La condition aux limites :

$$T_f = T_{fe} \text{ Qu'y=0}$$

$$T_f = T_{fs} \text{ Qu'y=l}$$

$$M = \frac{m}{p.l} \tag{III.60}$$

Le débit massique par unité de surface de capteur:

$$\frac{T_{fs} - T_a - \frac{pp}{u}}{T_{fe} - T_a - \frac{pp}{k}} = \exp\left(-\frac{F.K}{Mc_p}\right) \tag{III.61}$$

Cette expression permet de déterminer la température de sortie T_{fs} du fluide caloporteur en fonction de la température d'entrée T_{fe} , donc la puissance fournie au fluide par mètre carré de capteur s'écrit :

$$P_u = Mc_p(T_{fs} - T_{fe}) \tag{III.62}$$

Posons :

$$F_t = \frac{Mc_p}{K} \left[1 - \exp\left(-\frac{F.K}{Mc_p}\right) \right] \tag{III.63}$$

F_t : Facteur de transfert thermique

Donc :

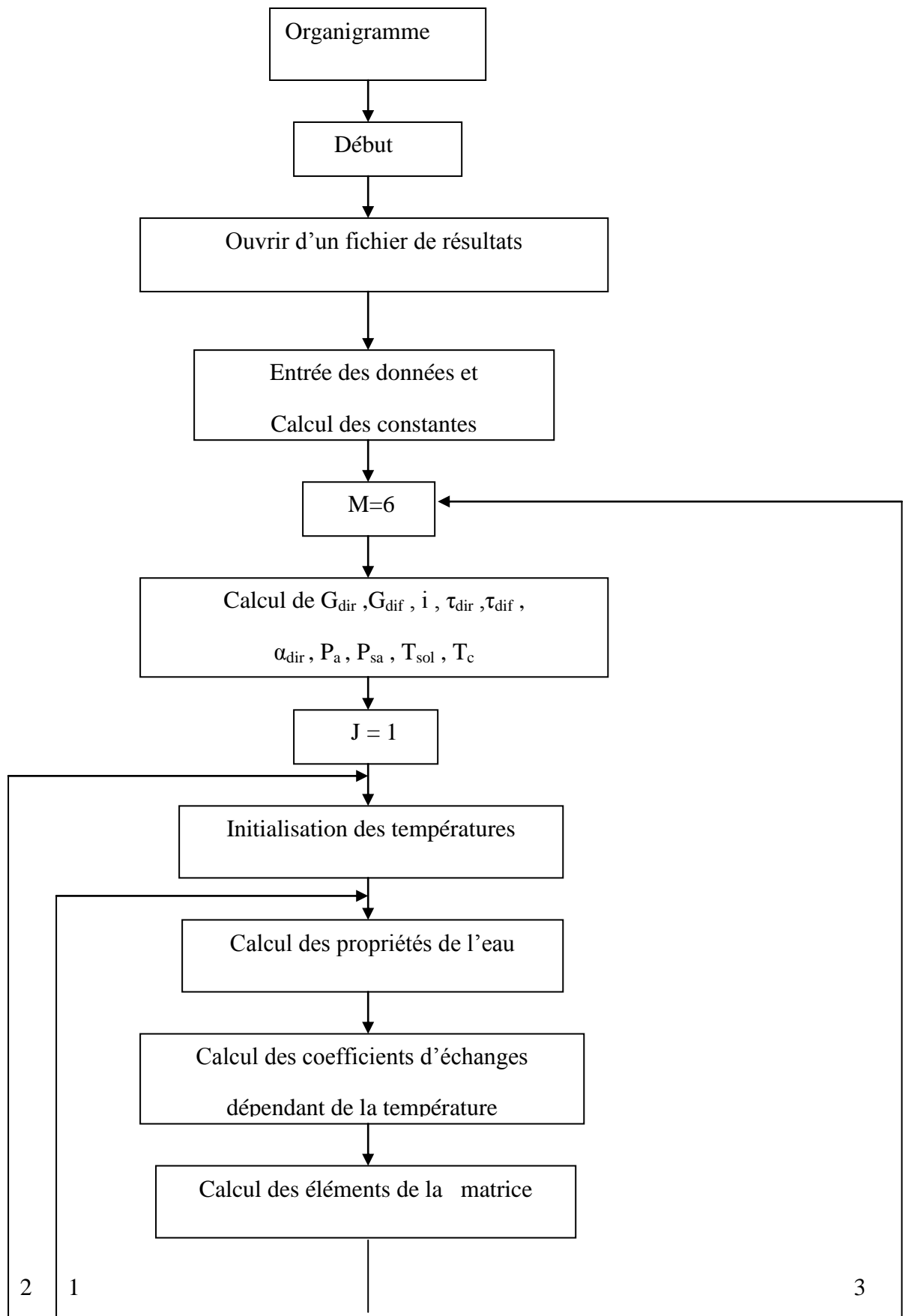
$$P_u = F_t(p_p - K(T_{fe} - T_a)) \tag{III.64}$$

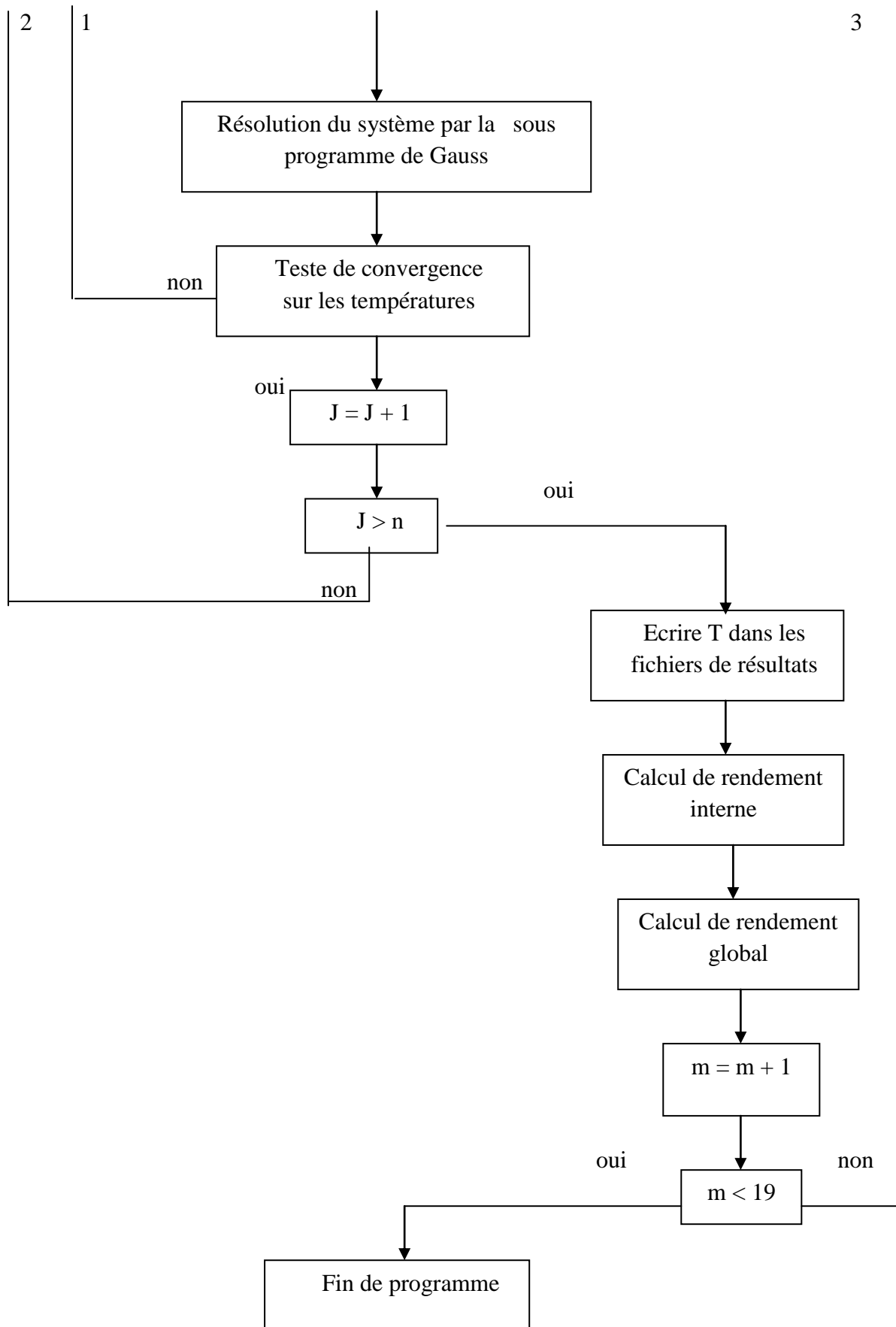
$$n = F_t\left(n_0 - K \frac{T_{fe} - T_a}{p_T}\right) \tag{III.65}$$

n_0 : Rendement optique

p_T : L'éclairement solaire reçu par le capteur.

III. 6.Organigramme





CHAPITRE IV :

RESULTAT ET DISCUSSION

Résultats et discussions

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

- les calculs sont effectués à M'sila en tenant compte des coordonnées géographiques (latitude 35° nord, longitude 5 Est).
- avec une zone de la condition normale pour un albédo de saharienne, biton et mère,
- les températures ambiantes ont été données par la formule :
$$T_a(t) = [(T_a \max - T_a \min)/2] \cdot \sin[(t-8) \cdot \pi/12] + (T_a \max + T_a \min)/2$$

Avec :

$T_a \max$: température maximale journalière.

$T_a \min$: température minimale journalière.

t : temps local.

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

Le but de ce programme est de donner les valeurs des différentes températures (Température du fluide T_f , de l'absorbeur T_n , et du vitrage T_v interne et externe) et le rendement du capteur η , en fonction du temps solaire vrai **TSV**.

Le programme est exploité aussi pour l'étude de l'influence de quelques paramètres sur le fonctionnement général du capteur étudié.

Il est évident de montrer que la variation des différentes températures dépend particulièrement de la puissance solaire incidente et des conditions climatiques environnantes et des paramètres externes tels que : l'épaisseur du vitre, l'albédo et la vitesse du vent.

IV.1 Effet de l'épaisseur du vitre

Sur les figures (IV-1), (IV-2), (IV-3) et (IV-4) représentent l'évolution de la température des constituants du capteur ainsi que celle du fluide caloporteur à la sortie du collecteur.

Les températures théoriques des différents éléments du capteur ainsi que le fluide caloporteur ont la même évolution gaussienne avec un maximum aux environs de midi. On constate également que c'est la température de la plaque absorbante qui est la plus élevée et dans un ordre décroissant vient la température de fluide caloporteur à la sortie du capteur, la température de la couverture interne, la température de la couverture externe.

La figure (IV.1) montre que l'épaisseur de la couverture n'affecte pas sur la température extérieure de la couverture (vitre) contrairement au reste températures qui présente sur les figures (IV-2), (IV-3) et (IV-4), à chaque fois où l'épaisseur de la vitre augmente, les température : internes, de l'absorbeur et de fluide caloporteur augmente lentement, Parce que l'augmentation de l'épaisseur du vitre réduit les valeurs des pertes de la face avant.

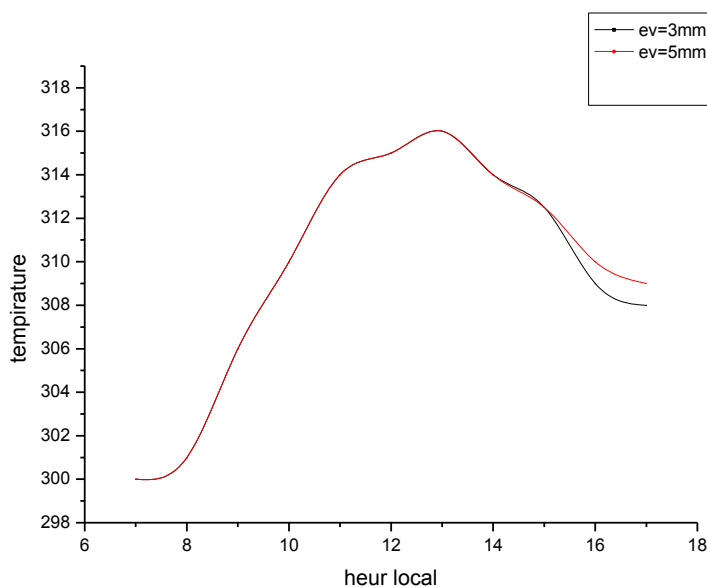


Figure (IV-1) : Effet de l'épaisseur de la vitre sur la température externe de vitre

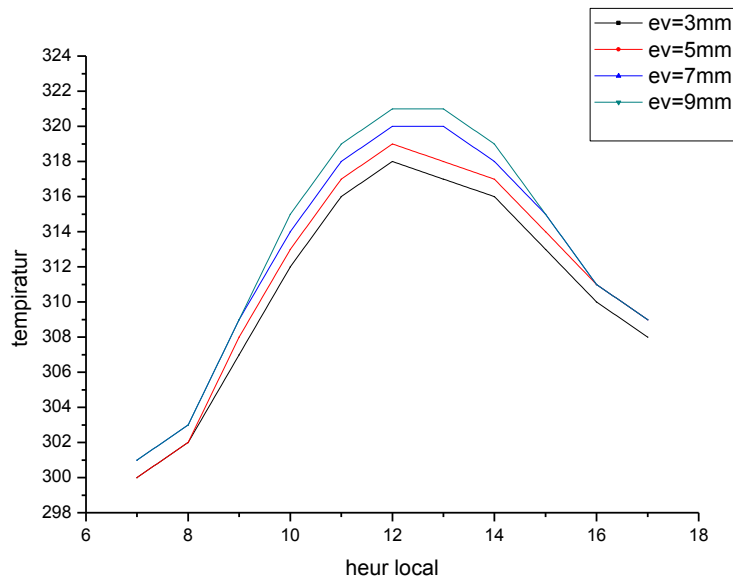


Figure (IV.2) Effet de l'épaisseur de la vitre sur la température interne de vitre

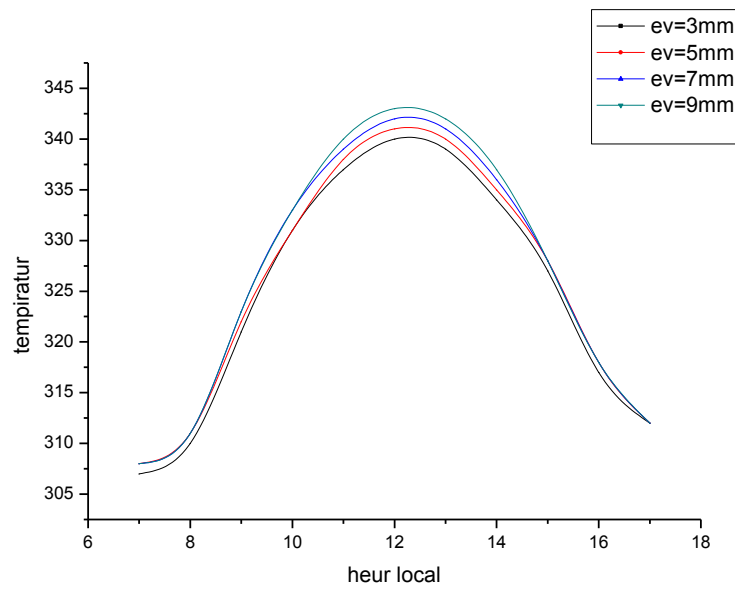


Figure (IV.3) - Effet de l'épaisseur de la vitre sur la température de l'absorbeur

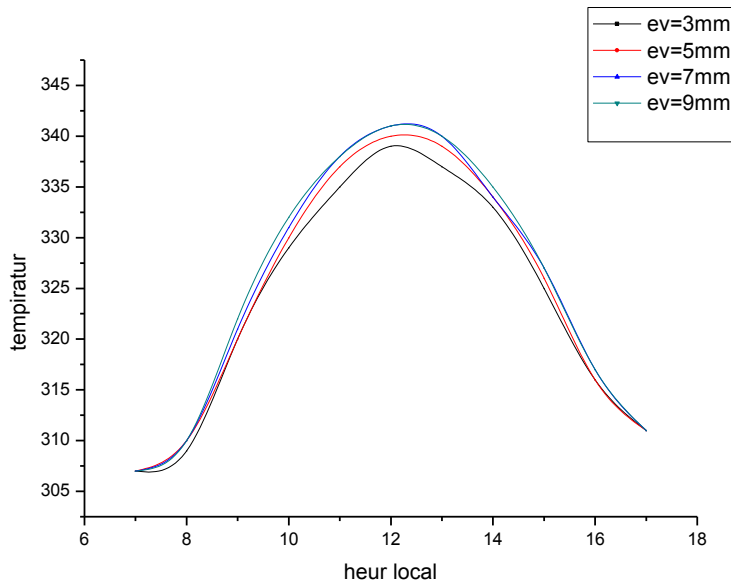


Figure (IV.4) Effet de l'épaisseur de la vitre sur la température de fluide caloporteur

IV.2 Variation de rendement du capteur en fonction de l'épaisseur du vitre durant la journée :

La figure (IV.5) représente la variation de rendement du capteur en fonction de l'épaisseur du vitre durant la journée, on remarque que les différents rendements concerne de différente épaisseur ont la même allure, on remarque aussi que le rendement instantané est augmente pendant la journée.

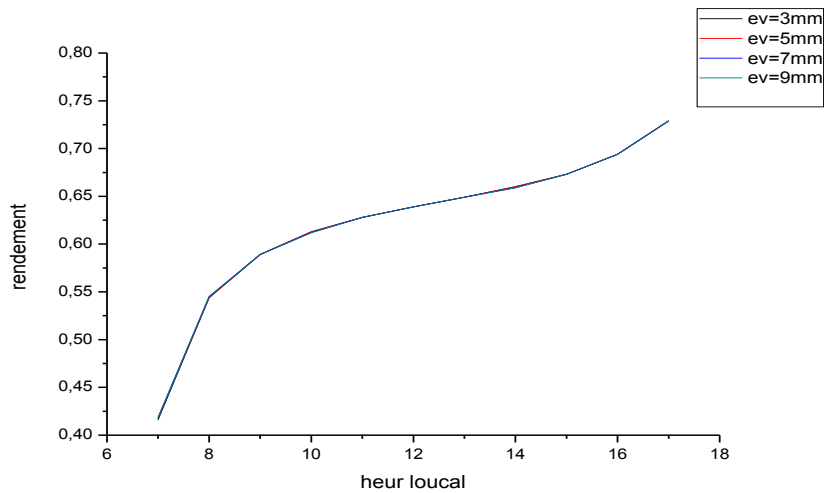


Figure (IV.5) - variation de rendement du capteur en fonction de l'épaisseur du verre pendant la journée

IV.3 Effet de l'albedo:

L'évolution temporelle du rayonnement solaire global reçu par unité de surface plane du capteur solaire pour la production d'eau chaude pour différents albédos est illustrée par les figures (IV-6), (IV-7), (IV-8) et (IV-9). Il apparaît nettement dans ces figures que la puissance solaire est maximale à 12h00, pour les deux flux directs et diffus ce qui peut être expliqué par la hauteur du soleil et la masse atmosphérique.

En effet, plus le soleil est bas sur l'horizon (sa hauteur petite) plus la masse atmosphérique parcourue par le rayonnement solaire est importante, ce dernier va donc subir des atténuations importantes suite à son interaction avec l'atmosphère terrestre. Par contre, lorsque le soleil s'éloigne de l'horizon, sa hauteur croît et par conséquent la masse atmosphérique parcourue par le rayonnement solaire diminue, il en résulte une atténuation moins importante.

IV.3.1 la mère

La figure (IV.6) représente les variations du rayonnement solaire direct, diffus et global reçu par unité de surface plane du capteur solaire dans une zone entourée par l'eau, d'après les figures. On observe que : le flux son maximum à midi solaire, la valeur maximale du flux global est égale à 1003 w/m^2 , le flux direct est égale à 779 w/m^2 et le flux diffus est égale à 223 w/m^2

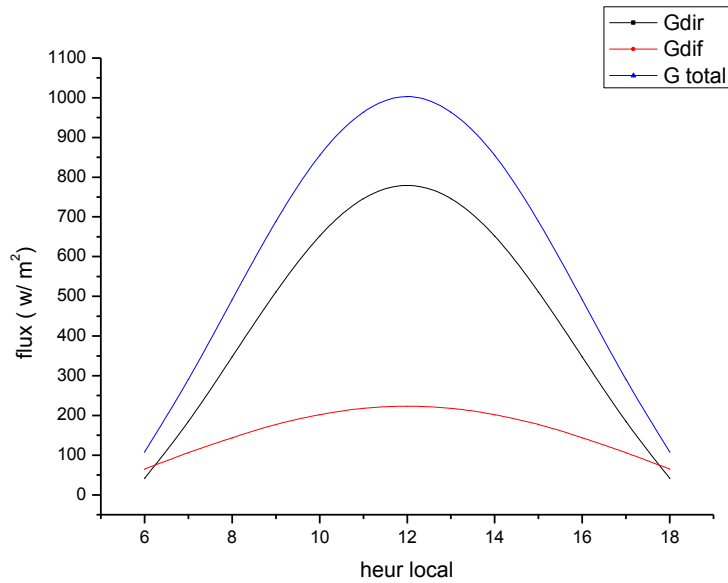


Figure (IV.6) - variation du rayonnement solaire pour l'albédo de la mère durant la journée.

IV.3.2 la saharienne

La figure (IV.17) représente les variations du rayonnement solaire direct, diffus et global reçu par unité de surface plane du capteur solaire dans une zone sahariennes, d'après les figures On observe que : le flux son maximum à midi solaire, la valeur maximale du flux global est égale à $1036 w/m^2$, le flux direct est égale a $779w/m^2$ et le flux diffus est égale à $256w/m^2$

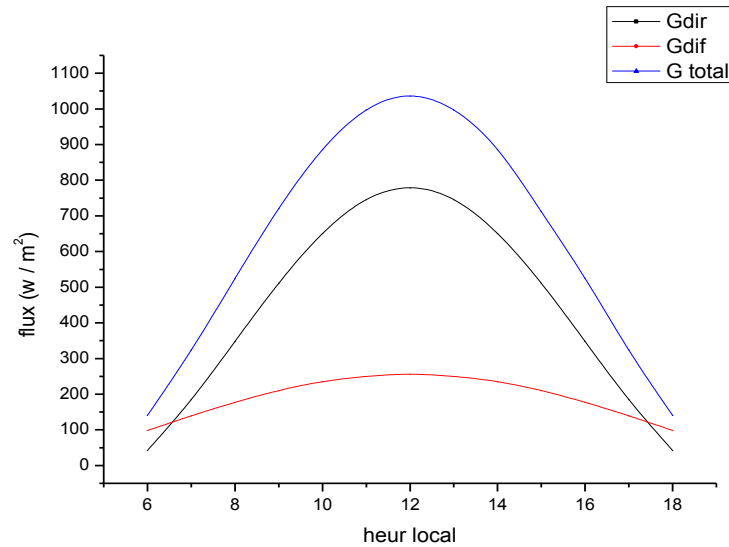


Figure (IV.7) variation du rayonnement solaire pour l'albédo de la saharienne durant la journée

IV.3.3 biton

La figure (IV.8) représente les variations du rayonnement solaire direct, diffus et global reçu par unité de surface plane du capteur solaire dans une zone entourée de béton, d'après les figures On observe que : la valeur maximale du flux global est égale à 1004 w/m^2 , le flux direct est égale a 779w/m^2 et le flux diffus est égale à 224w/m^2

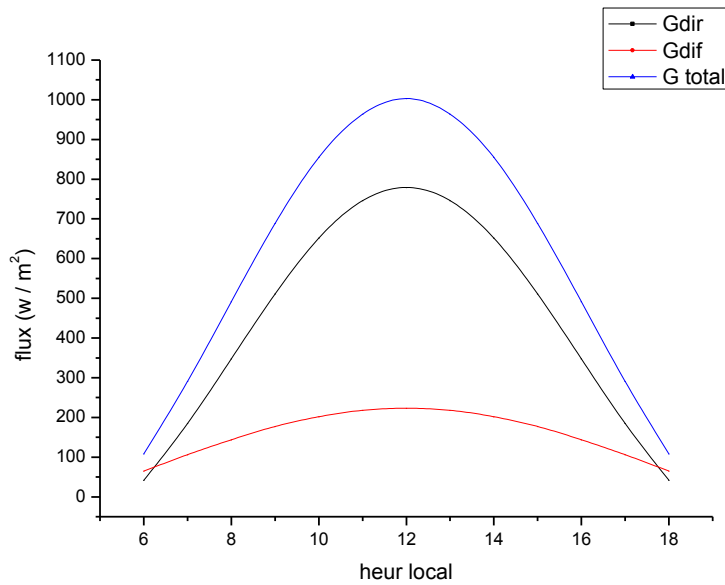


Figure (IV.8) - variation du rayonnement solaire pour l'albédo du biton durant la journée

IV.3.4 Effet de l'albédo sur le rayonnement solaire diffus

La figure (IV.9) permet de remarquer que le rayonnement solaire diffus présente des valeurs optimales dans la zone sahariennes. Puisque l'albédo c'est le rapport de l'énergie lumineuse réfléchié à l'énergie lumineuse incidente, car l'albédo dans la zone sahariennes est plus grande par rapport les autre zone.

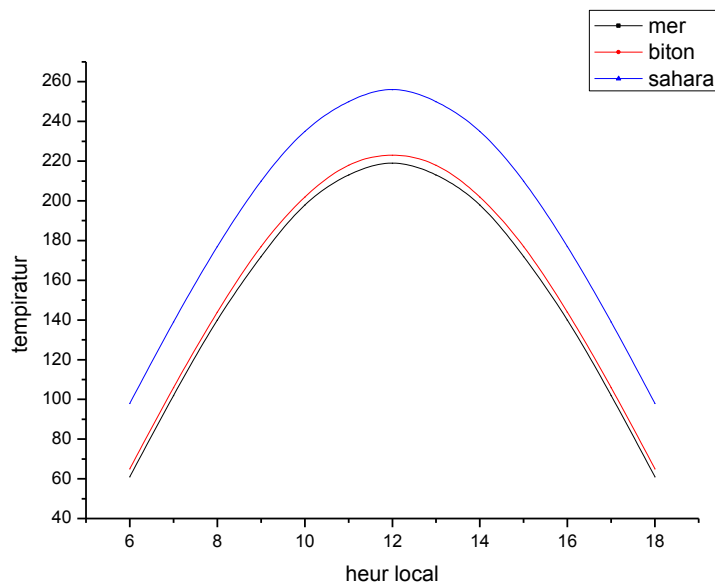


Figure (IV.9) Effet de l'albédo sur le rayonnement solaire diffus durant la journée

IV.3.5 Effet de l'albédo sur le rayonnement solaire direct

La figure (IV.10) représente l'Influence de l'albédo sur le rayonnement solaire direct, On remarque que Les trois courbes sont identiques (sahariennes, biton et mère), donc l'albédo n'affecte pas sur le rayonnement solaire direct.

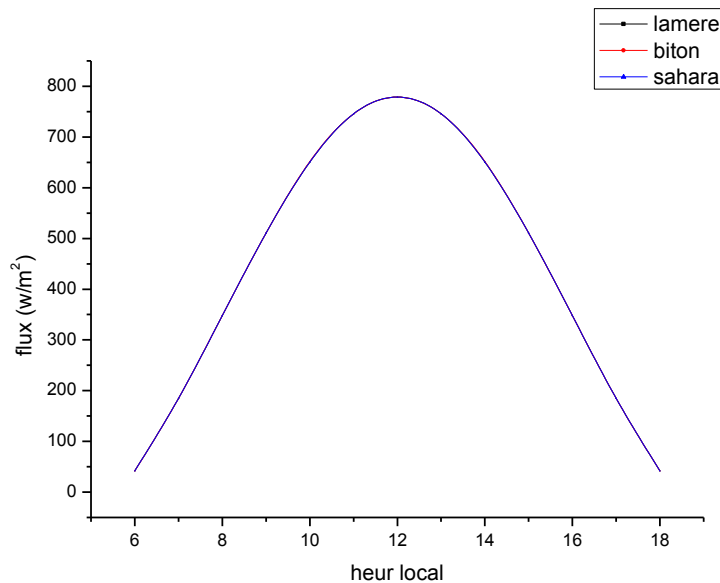


Figure (IV.10) Effet de l'albédo sur le rayonnement solaire direct durant la journée

IV.3.6 Effet de l'albédo sur le rayonnement solaire global

La figure (IV.11) représente les variations montre l'évolution du rayonnement solaire global en fonction du temps pour différent albédo, permet de remarquer que le rayonnement solaire global présente des valeurs optimales les zones sahariennes le flux global est égale à 1036 w/m^2 . Donc les meilleures zones sont les zones sahariennes.

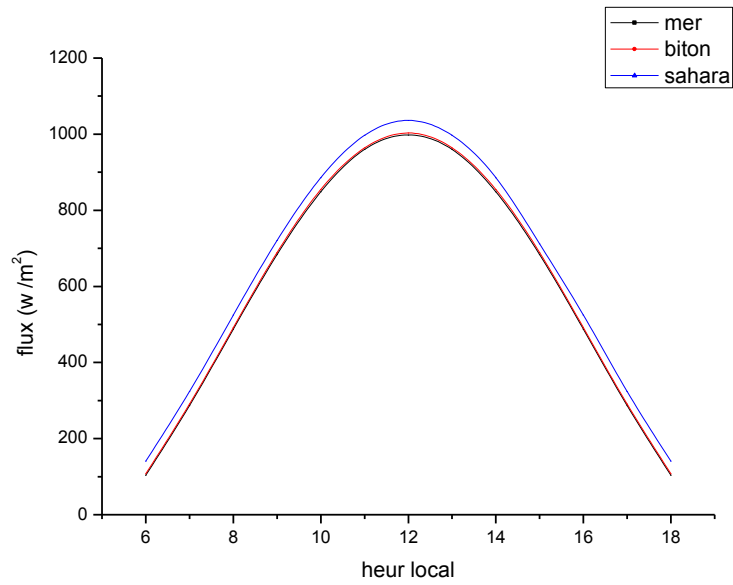


Figure (IV.11) Effet de l’albédo sur le rayonnement solaire global durant la journée

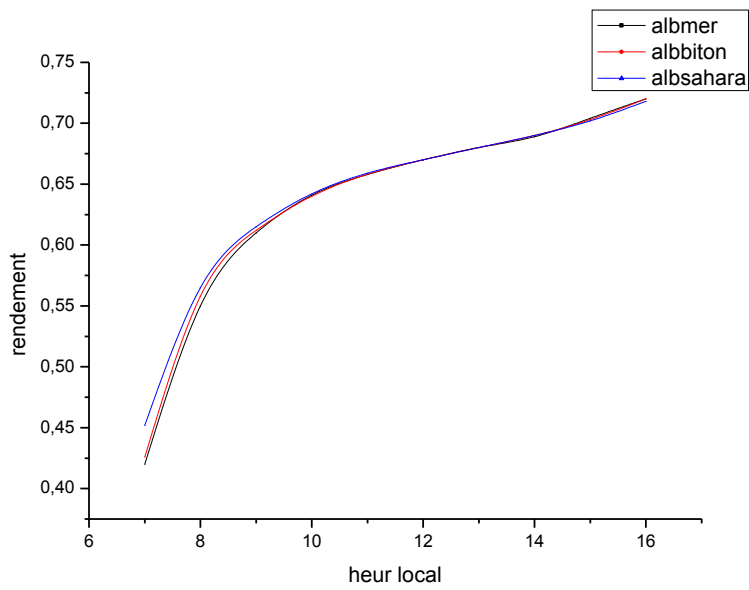


Figure (IV.12) Variation du rendement instantané pour albédo

IV.4 L'effet de la vitesse du vent.

IV.4.1 L'effet de la vitesse du vent sur l'extérieure du vitre.

La vitesse du vent provoque un effet de refroidissement sur la surface extérieure de la vitre, la figure (IV.13) montre que la vitesse du vent influe relativement sur la température au niveau des vitres externes.

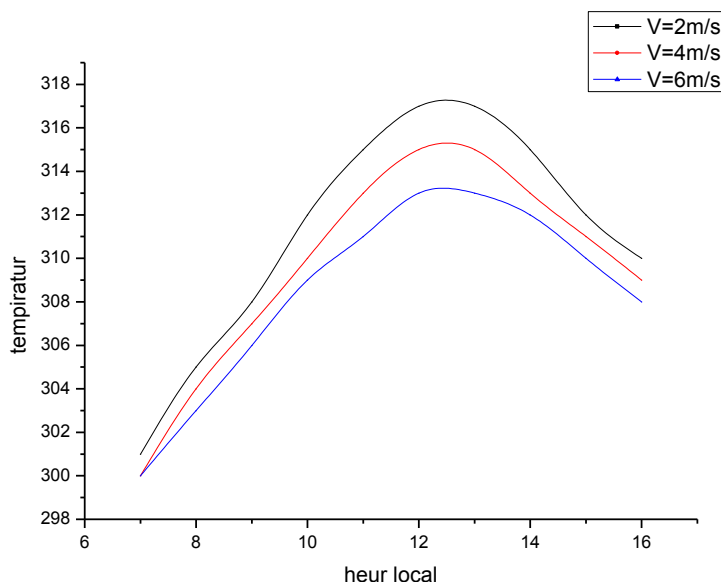


Figure (IV.13) Effet de la vitesse du vent sur le vitre externe

IV.4.2 L'influence de la vitesse du vent sur le vitre interne

Les figures (IV-14), (IV-15) et (IV-16) montrent l'influence de la vitesse du vent sur les températures interne de vitre, absorbeur et le fluide caloporteur, On constate que l'accroissement de la vitesse du vent provoque une baisse des températures des éléments du capteur donc une augmentation des déperditions thermique vers l'avant du capteur

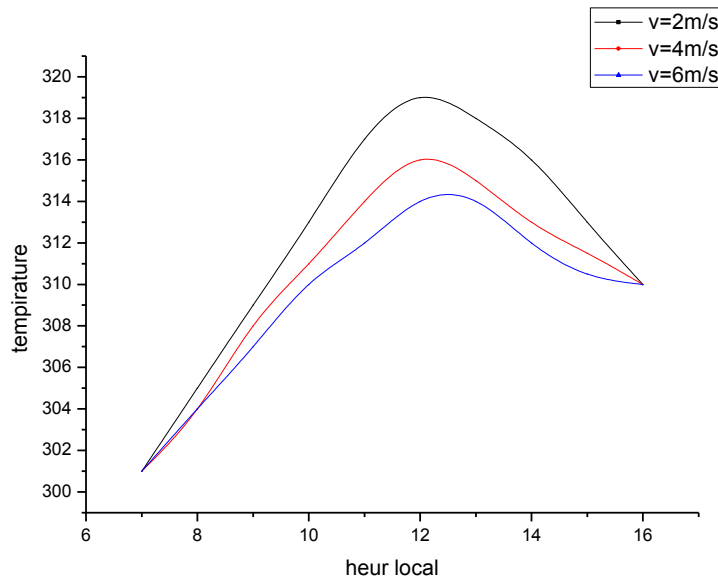


Figure (IV.14) Effet de la vitesse du vent sur la vitre interne

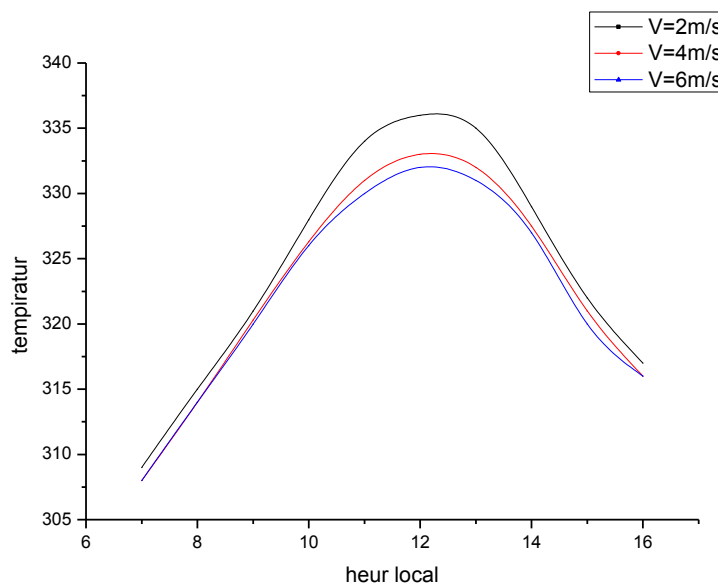


Figure (IV.15) Effet de la vitesse du vent sur la température de l'absorbeur

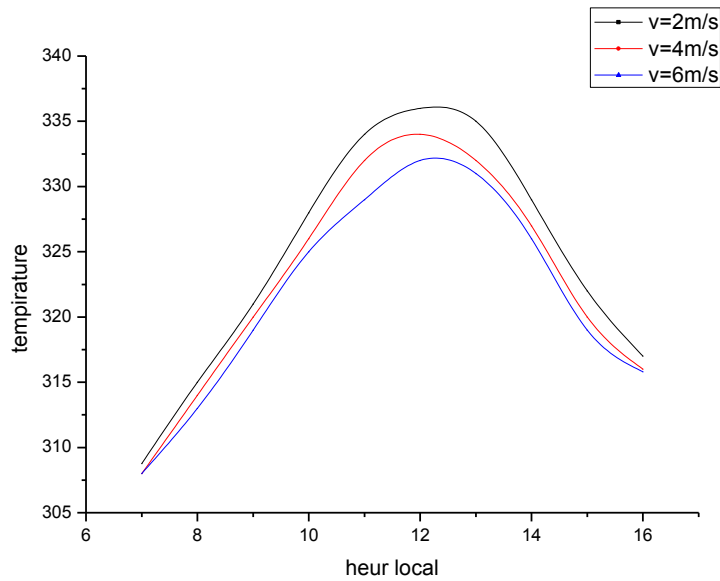


Figure (IV.16) Effet de la vitesse du vent sur la température de fluide caloporteur

IV.4.3 L'effet de la vitesse du vent sur le rendement.

L'influence de la vitesse du vent sur le rendement du capteur est illustrée sur la figure (IV-17). On constate que les faibles vitesses sont plus favorables.

L'accroissement de la vitesse du vent provoque une augmentation des déperditions thermique vers l'avant du capteur ce qui conduit à un rendement moindre.

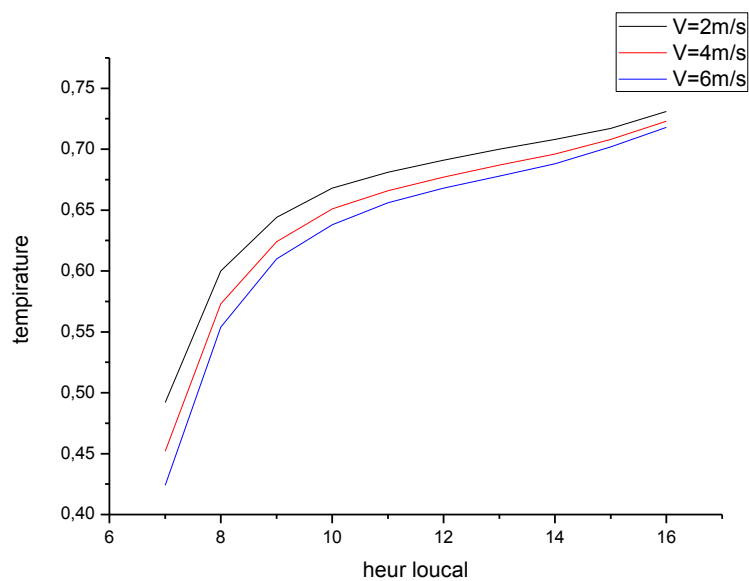


Figure (IV.17) Effet de la vitesse du vent sur le rendement du capteur.

IV.5 Effet de la température ambiante

IV.5.1 Effet de la température ambiante sur les différentes températures du capteur

L'évolution temporelle des différentes températures est proportionnelle à l'évolution de la température ambiante, mais celle de la plaque absorbante est plus élevée par rapport aux autres composants, ce qui explique que l'augmentation de la température ambiante entraîne une augmentation sur les différentes températures du capteur.

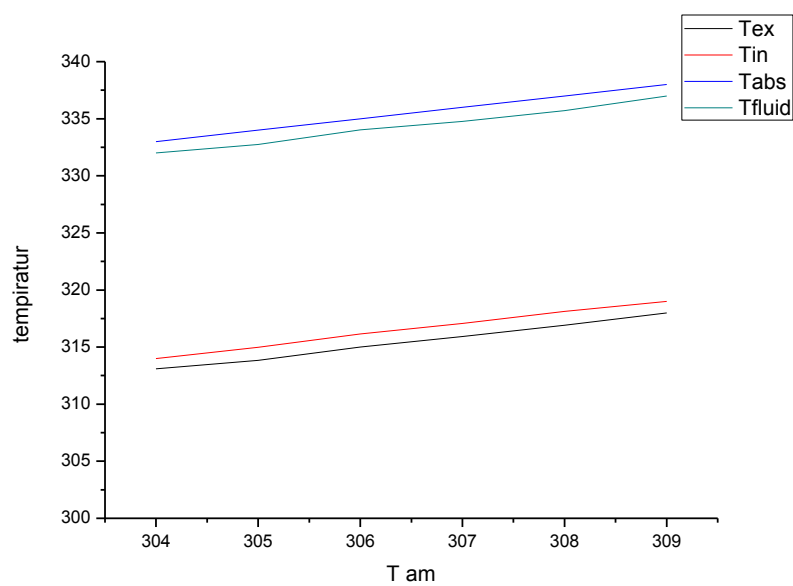


Figure (IV.18) effet de la température ambiante sur les différentes températures du capteur.

IV.5.2 L'effet de la température ambiante sur le rendement

D'après la figure (IV.19), on remarque qu'il existe une fonction croissante entre la température ambiante et le rendement, plus la température ambiante augmente plus le rendement croît aussi, la température ambiante élevée conduit à un écart réduit entre la température du fluide caloporteur et celle de l'ambiance, Par conséquent cela se traduit par une diminution des déperditions thermique et ce qui conduit à un rendement plus élevé.

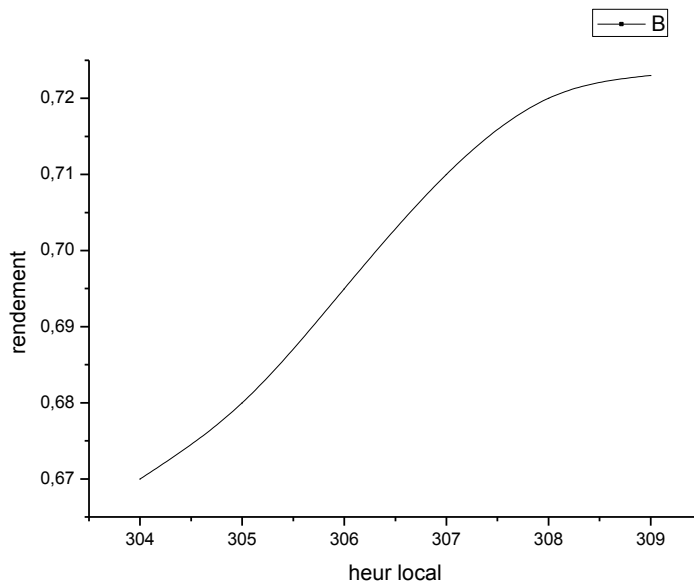


Figure (IV.19) effet de la température ambiante sur le rendement du capteur

CONCLUSION

Conclusion

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

Nous avons étudié l'effet des paramètres externes et internes (épaisseur du verre, albédo et vitesse du vent..) sur un capteur solaire plan incliné.

Notre étude théorique et numérique a aboutie à l'élaboration d'un programme de calcul. Le système d'équation est résolu par une approche numérique basée sur la méthode de Gauss Seidel d'itération.

L'avantage de ce programme est l'optimisation d'un capteur solaire plan et de calculer ses performances pour n'importe quel lieu (coordonnées géographiques) et numéro du jour dans l'année avec la prise en considération les propriétés physiques des matériaux constituant ce convertisseur.

Ce travail constitue une modeste contribution pour le développement et l'utilisation des convertisseurs solaire pour la production d'eau chaude sanitaire.

L'analyse des différents résultats obtenus, nous a permis de mettre les différentes remarques :

- l'augmentation de l'épaisseur du verre réduit les valeurs des pertes de la face avant.
- le rayonnement solaire global présente des valeurs optimales dans les zones sahariennes
- L'accroissement de la vitesse du vent provoque une augmentation des déperditions thermique vers l'avant du capteur ce qui conduit à un rendement moindre
- l'augmentation de la température ambiante entraîne une augmentation sur les différentes températures du capteur.

pour ce faire des travaux en perspectives peuvent être mener comme l'influence de l'épaisseur et la nature de l'isolant, ainsi que la distance entre les tubes, la nature géométriques des tubes (par exemple tube sous forme triangulaire) et la surface de contact tube-absorbeur sur le de capteur.

REFERANCES ET BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **J, Bernard**. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [2] **C, Vauge**. Introduction générale sur les différentes énergies renouvelables, Techniques de l'Ingénieur, B263. (1982).
- [3] **A, H, Khedim**. Energie solaire et son utilisation sous forme thermique et Photovoltaïque, Centre de Publication Universitaire. (2003).
- [4] **Z, Sen**. Solar energy fundamentals and modeling techniques, Springer. (2008).
- [5] **R, Bernard; G, menguy; M, Schwartz**. Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications, Technique et Documentation. (1979).
- [6] **J, A, Duffie; W, A, Beckman**. Solar engineering of thermal processes, John Wiley and Sons. (1980).
- [7] **A, Sfeir ; G, Guarracino**. Ingénierie des systèmes solaires, Technique et Documentation, Paris. (1981).
- [8] **Ch, Perrin de Brichambaut; C, Vauge**. Le gisement solaire, Technique et Documentation, Paris. (1982).
- [9] **J, Bonal; P, Rossetti**. Les énergies alternatives, Omniscience. (2007).
- [10] **O, Sotehi**. Etude des caractéristiques de fonctionnement et de la performance d'un distillateur solaire; thèse de magistère, Université de Constantine. (2009).
- [11] **P, H, Communay**. Héliothermique : le gisement solaire, méthodes et calculs, Groupe de Recherche et d'Édition, France. (2002).
- [12] **N, Bellel**. Contribution à la réalisation et simulation d'un capteur plan à eau type collecteur; thèse de magistère, Université de Constantine. (1989).
- [13] G. Notton, C. Cristofari, P. Poggi, Performance evaluation of various hourly slope irradiations models using Mediterranean experimental data of Ajaccio, Ajaccio, France (2005)
- [14] **T, Enrênez; J, P, Bibring; M, Blanc; M, A, Barucci; F, Roques, P, Zarka**. Le Système solaire, Éditions et EDP sciences, Paris. (2003).
- [15] **U, Eiker**. Solar technologies for buildings, John Wiley sans Sons, England. (2001).
- [19] **N, Bellel**. Etude des transferts thermiques le long d'un tube cylindrique appliquée à deux géométries ; thèse de doctorat, Université de Constantine. (2004).
- [16] **A, Degionanni**. Techniques de l'ingénieur, conduction, BE8200. (1981).
- [17] **M, E, A, Bekkouche**. Modélisation du comportement thermique de quelques dispositifs solaires; thèse de doctorat, Université de Tlemcen. (2009).
- [18] **J, P, Petit**. Techniques de l'ingénieur, notions de transferts thermiques par convection, A1540. (1979).
- [19] **A, Sfeir ; G, Guarracino**. Ingénierie des systèmes solaires, Technique et Documentation, Paris. (1981) Sons. (1980)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Résumé

Le soleil fournit à la terre de gigantesques quantités d'énergie qui peuvent être exploitée sous des formes diverses. Dans le présent mémoire, l'exploitation de l'énergie solaire par voie thermique en utilisant un capteur solaire plan à eau a été étudiée.

Le but de ce travail est d'étudier l'effet des paramètres externes et internes (épaisseur du vitre, albédo et vitesse du vent..) sur un capteur solaire plan. La méthode nodale consiste à découper le capteur en tranches fictives (mailles) de longueur Δx dans le sens de l'écoulement du fluide caloporteur et à établir les bilans des échanges thermiques qui interviennent aux niveaux des nœuds considérés : l'extérieur de la vitre, l'intérieur de la vitre, l'absorbeur, au niveau du fluide caloporteur ainsi que l'intérieur et l'extérieur de l'isolant. Il est commode pour cela d'utiliser l'analogie qui existe entre les transferts de chaleur et les lois électriques pour établir les profils des températures au niveau des nœuds principaux.

Nous avons trouvé que le rayonnement solaire global présente des valeurs optimales dans les zones sahariennes, L'accroissement de la vitesse du vent provoque une augmentation des déperditions thermique et l'augmentation de la température ambiante entraîne une augmentation sur les différentes températures du capteur.

Mots clés : capteur solaire plan, épaisseur du vitre, albédo, vitesse du vent , température ambiante

Abstract

The sun provides the earth with gigantic amounts of energy that can be exploited in various forms. In this thesis, solar thermal exploitation using a flat water solar collector has been studied.

The purpose of this work is to study the effect of the external and internal parameters of (glass thickness, albedo and wind speed ...) on a flat solar collector. The nodal method consists of cutting the sensor into fictitious slices (meshes) of length Δx in the direction of the flow of the heat transfer fluid and to establish the balance sheets of the thermal exchanges which take place at the levels of the considered nodes: the outside of the glass, the inside of the glass, the absorber, at the level of the coolant as well as the inside and the outside of the insulation. It is convenient for this purpose to use the analogy between heat transfer and electric laws to establish temperature profiles at the main nodes.

We have found that the global solar radiation has optimal values in the Saharan zones. Increasing the wind speed causes an increase in the heat losses and the increase in the ambient temperature causes an increase on the different temperatures of the sensor.

Key words: solar collector, albedo, glass thickness, wind speed, ambient temperature.

ملخص

الشمس تزود الأرض بكميات هائلة من الطاقة التي يمكن استخدامها بأشكال مختلفة, في هذه المذكرة قمنا بدراسة استغلال الطاقة الشمسية باستخدام لاقط شمسي حراري. الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير العوامل الخارجية والداخلية (سمك الغطاء, نسبة الطاقة المعادة علي الطاقة الكلية وسرعة الرياح) على عمل لاقط شمسي حراري مستوي. استعملنا لذلك طريقة نودال والتي تعتمد على تقسيم اللاقط الى أقسام طولها (Δx) في اتجاه حركة المائع . وتكون معادلات الحرارة والحركة عند العقد خارج الغطاء, داخل الغطاء, الصفيحة المعدنية الماصة للحرارة, المائع, داخل وخارج العازل الحراري ولذلك نستعمل مطابقة باستعمال مقاومات بين العقد. لقد وجدنا أن أكبر كمية للطاقة تكون بالمناطق الصحراوية , كما أن زيادة سرعة الرياح تؤدي إلى انخفاض مردود اللاقط وأيضاً حرارة الجو تزيد من حرارة مختلف مكونات اللاقط الحراري. **الكلمات المفتاحية :** لاقط شمسي , سمك الغطاء , البيدو , سرعة الرياح , حرارة الجو