

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



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire de fin d'études

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologies

Filière: Génie mécanique

Spécialité: Énergétique et Énergies renouvelables

Thème

**Étude théorique et réalisation d'un capteur
solaire plan**

Devant le jury composé de :

Présenté par :

.....

Président

- BISA Abdelhafid

.....

Examineur

- HAMED Said

.....

Examineur

MENACEUR Redha

Encadreur

2015-2016

Remerciements

*Langage tout d'abord à dieu qui nous a donné la force
Pour terminer ce modeste travail.*

*Toutes nos infinies gratitudees à notre promoteur monsieur
MENACEUR Redha pour son encadrement et ses aides
précieuses.*

*Notre sincère reconnaissance à nos enseignants du
département : Génie mécanique.*

*Nous remercions aussi les membres de jury qui nous ont fait
l'honneur d'accepter le jugement de notre travail.*

*Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribués de près
ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail, trouvent ici
l'expression de notre profondes gratitudees et respects.*

Abdelhafid L Saïd

DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail ;
A ma mère et mon père. Que dieu les gardes.
A mes très chers frères et ma sœur.
A ma famille.
A ma très chère épouse.
A mes enfants.
A mon très cher collègue said.
A tous mes amis.*

BISA Abdelhafid



DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail ;
A ma mère et mon père. Que dieu les gardes.
A mes frères et sœurs.
A ma famille.
A ma très chère épouse.
A mes enfants.
A mon très cher collègue Abdelhafid.
A tous mes amis.*

HAMED Said.



Sommaire

Remerciement	I
Dédicace	II
Sommaire	III
Nomenclature	VI
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	XI
Introduction Générale :	2

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE ET GENERALITE

Introduction :	5
I.1.Recherches réalisées sur les capteurs solaires plans:	5
I .2. Aperçu sur la ressource de l'énergie solaire :	11
I .2.1. Généralités sur le soleil :	11
I .2. 2. Présentation générale :	12
I .2. 3. Evolution :	12
I.3.L'énergie solaire :	13
I.3.1. Energie solaire photovoltaïque :	13
I.3.2. Energie solaire thermique :	13
I.3.3.Caractéristiques spécifiques de l'énergie solaire :	14
I.3.4.Paramètres de position:	14
I.3.4.1.Les coordonnées géographiques terrestres:	14
I.3.4.2.Les coordonnées horaires:	15
I.3.4.3.Les coordonnées horizontales:	16
I.3.5.Le temps solaire :	17
I.3.5.1. Temps solaire vrai (TSV):	17
I.3.5.2.Temps solaire moyen (TSM):	17
I.3.5.3.Temps civil:	17
I.3.5.4.Temps universel (TU) :	17
I.3.5.5.Temps légal (TL) :	17
I.3.6 .Le rayonnement solaire :	18
I.3.6.1 Composante du rayonnement solaire :	18
I .3.6.2 Le rayonnement solaire au sol :	19

Sommaire

Conclusion:	20
CHAPITRE II : ETUDE THEORIQUE ET MODELISATION THERMIQUE DE CAPTEUR SOLAIRE PLAN	
Introduction :	22
II.1. Les capteurs solaires :	22
II.2. Description du capteur plan :	23
II.2.1. Le vitrage (couvercle) :	23
II.2.2. L'absorbeur:	24
II.2.3. L'isolant :	25
II.2.4. Le fluide caloporteur:	26
II.3. Différents types capteurs solaires à plan:	27
II.3.1. Le capteur solaire à eau :	27
II.3.1. Le capteur solaire à air :	28
II.4 Les paramètres influant sur le fonctionnement d'un capteur solaire :	28
II.4.1. Les paramètres externes :	28
II.4.2. Les paramètres internes :	28
II.5. Performances d'un capteur solaire :	29
II.6. Bilan thermique d'un capteur solaire plan :	29
II.7. Le rendement d'un capteur solaire " η ":	30
II.8. Modélisation des coefficients d'échange thermique :	30
II.8.1. Transfert thermique par conduction :	31
II.8.2. Transfert thermique par rayonnement :	31
II.8.3. Transfert thermique par convection :	32
II.8.3.1. Transfert convectif du au vent :	32
II.8.3.2. Transfert convectifs dans le capteur :	33
II.9. Puissance absorbée " P_n ":	34
II.10. Calcul des pertes thermiques " Q_p ":	35
III.10.1. Pertes à l'avant " U_t ":	35
II.10.2. Pertes à l'arrière " U_b ":	37
II.10.3. Calcul du coefficient global des pertes thermiques " U_L ":	37
Conclusion :	38
CHAPITRE III : EXPERIMENTALE	
Introduction:	40
III.1. Caractéristiques du site des mesures:	40
III.2. Description du dispositif expérimental:	40

Sommaire

III.2.1.Instrumentation des captures :	41
II.2.1.1Mesure de la vitesse de l'air:.....	41
II.2.1.2Mesure de l'éclairement:	42
II.2.1.3Mesure de la température:	42
III.3.Résultats expérimentaux :.....	43
Les résultats sont présents sous forme des tableaux (Tab-Tab) pour chaque journée avec l'explication des paramètres prises en compte.	
III.3.1.Variation du rayonnement solaire en fonction du temps :.....	43
III.3.2.Variation de la température de sortie de l'air en fonction des débits :.....	46
III.3.3.Variation de la température de l'absorbeur en fonction des débits :.....	49
III.3.3.Variation du rendement instantané:.....	51
Conclusion :	51
Conclusion Générale.....	53
Bibliographique	

Nomenclature

Nomenclature

Symbole	Dénomination	Unités
A	surface de captation de l'insolateur plan à air	m ²
D _H	diamètre hydraulique	m
e	épaisseur de la veine d'air mobile	m
F'	coefficient d'efficacité local de transfert air-absorbeur	
F _R	coefficient global de transfert air-absorbeur	
h _{cp}	coefficient de transfert conductif dans la paroi isolante du capteur	w/m ² k
h _{rc}	coefficient de transfert radiatif entre la vitre du capteur et la voute céleste	w/m ² k
h _{mAl}	coefficient de transfert radiatif entre l'absorbeur et la plaque d'aluminium	w/m ² k
h _{mv}	coefficient de transfert radiatif entre l'absorbeur et la vitre	w/m ² k
h _{nv}	coefficient de transfert convectif entre la plaque d'aluminium et l'air	w/m ² k
h _w	coefficient de transfert convectif du au vent	w/m ² k
h _{vnat}	coefficient de perte par conduction-convection naturelle entre absorbeur et vitre	w/m ² k
h _{vnf}	coefficient de transfert convectif entre l'absorbeur et l'air	w/m ² k
l	largeur du capteur plan à air	m
L	longueur du capteur plan à air	m
ṁ	débit d'air massique	kg/s
N	nombre de vitrage	
P _u	puissance utile récupérée par l'insolateur	w
Q _u	quantité de chaleur utile récupérée par l'insolateur	w/m ²
Q _p	quantité de chaleur perdue par l'insolateur	w/m ²
Q _{p1}	quantité de chaleur perdue par à l'avant de l'insolateur	w/m ²
Q _{p2}	quantité de chaleur perdue par à l'arrière de l'insolateur	w/m ²
Q _s	quantité de chaleur stocké	w/m ²
T _a	température ambiante	°C
T _{Al}	température de la plaque d'aluminium placée dans la veine d'air mobile du capteur	°C

Nomenclature

T_c	température équivalente de la voute céleste	$^{\circ}\text{C}$
T_{fe}	température sèche de l'air à l'entrée du capteur	$^{\circ}\text{C}$
T_f	température moyenne de l'air dans la veine d'air mobile du capteur	$^{\circ}\text{C}$
T_{Fs}	température de l'air à la sortie du capteur	$^{\circ}\text{C}$
T_n	température moyenne de l'absorbeur	$^{\circ}\text{C}$
T_v	température de la vitre	$^{\circ}\text{C}$
U_b	coefficient de perte thermique à l'arrière de l'absorbeur	$\text{w/m}^2\text{k}$
U_L	coefficient global de perte thermique entre l'absorbeur et l'air ambiant	$\text{w/m}^2\text{k}$
U_t	coefficient de perte thermique à l'avant de l'absorbeur	$\text{w/m}^2\text{k}$
U_{t1}	coefficient de perte thermique à l'avant de la vitre	$\text{w/m}^2\text{k}$
v_f	vitesse de l'air dans la veine d'air mobile du capteur plan	m/s
V_v	vitesse du vent	m/s

Lettres grecques

β	angle d'inclinaison du capteur	
ε	porosité apparente du lit de particules	
ε_{Al}	émissivité de la plaque d'aluminium lisse placée sur l'isolant dans le capteur	
ε_{nAl}	émissivité de l'absorbeur vers la surface lisse en aluminium	
ε_{nmat}	émissivité de l'absorbeur peint en noir mat	
α_{abs}	coefficient d'absorptivité de l'absorbeur	
α_v	coefficient d'absorptivité de la vitre	
ε_b	émissivité du vitrage	
τ_v	coefficient de transmittivité du vitrage	
Φ_g	flux global reçu par le capteur plan à air	w/m^2
λ_f	conductibilité de l'air à l'instant	w/m.k
μ_f	viscosité cinématique de l'air à l'instant	kg/ms
ν_f	viscosité dynamique de l'air à l'instant	m^2/s

Nomenclature

ρ	masse volumique l'air à l'instant	kg/m^3
C_p	capacité calorifique de l'air	J/kg K
η	rendement thermique du capteur plan à air	%
σ	constante de Stephan -Boltzmann	$\text{W/m}^2\text{K}^4$

Nombres adimensionnels

Symbole	Dénomination	Unités
Nu	nombre de Nusselt	sans dimension
Re	nombre de Reynolds	sans dimension

Indice

Symbole	Dénomination
c	ciel
v	vitre
n	Absorbeur
a	ambiante
e	entrée
s	sortie
f	fluide



liste des figures

Liste des figures

Fig. (I.1) : le schéma de l'installation expérimentale pour la mesure graphique. N. Nijegorodov et al (1996)	5
Fig.(I.4) :Capteur muni d'obstacles TL A. Ahmed-Zaïd et al (2001)	6
Fig.(I-5) : Capteur avec des chicane rectangulaire sur la plaque inférieure en bois. N. Moumami et al (2004)	7
Fig.(I-6) : Evolution du rendement du capteur en fonction du débit volume de l'air pour les deux configurations de capteurs (avec chicane et absorbeur sélectif) (N.Moumami et al (2004))	8
Fig (I.7) : Plaques rectangulaires minces orientées parallèlement à l'écoulement et soudées à la face inférieure de l'absorbeur (S. Youcef-Ali (2005)).	8
Fig (I.8) : Conception des capteurs à aérogel de silice (Fayza Benyelles et al (2007))	9
Fig (I.9) : Capteur plan à air muni de rugosités cylindriques	10
Fig (I.10): Les différents arrangements des chicanes cylindriques.	10
Fig (I-11)- Réparation spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère.	11
Fig. (I-12)- Structure du soleil.....	12
Fig. (I.13)- Cycle de vie du soleil	13
Fig. I.14. Coordonnées géographiques terrestres.....	15
Fig. .I.15. Les coordonnées horaires.	16
Fig. I.17.La longueur d'onde de rayonnement solaire	18
Fig. I.18. Bilan du rayonnement solaire arrivé au sol.....	19
Fig. II.1.Capteur solaire thermique.	22
Fig. II.2. Composants d'un capteur solaire plan.....	23
Fig. III.1: Anémomètre	41
Fig III.2. Pyranomètre.....	42
FigIII.3. Thermocouple	43
Fig III.4. Variation du rayonnement solaire en fonction du temps (23 Février 2016)	44
Fig III.5. Variation du rayonnement solaire en fonction du temps (05 Avril 2016)	44
Fig III.6. Variation du rayonnement solaire en fonction du temps (27 Avril 2016)	45
Fig.III.7.Variation de la temperature de sortie de l'air en fonction des debits avec capteur sans chicane	47
Fig.III.8.Variation de la temperature de sortie de l'air en fonction des debits avec capteur chicane sous l'absorbeur	47
Fig.III.9.Variation de la temperature de sortie de l'air en fonction des debits avec capteur chicane sous l'absorbeur sur la plaque inférieure.....	48
Fig.III.10.Variation de la temperature de sortie de l'air en fonction des debits par configuration du capteur.....	48

Liste des figures

Fig.III.11.Variation de la temperature d'entrée de l'absorbeur en fonction des debits par configuration du capteur.....	50
Fig.III.12.Variation de la temperature de sortie de l'absorbeur en fonction des debits par configuration du capteur.....	50
Fig.III.13.Variation du rendement instantané.....	51



liste des tableaux

Liste des tableaux

Tab II.1 : Propriétés de quelques surfaces transparentes au rayonnement solaire mais 23	23
Opaques au rayonnement infrarouge..... 23	23
Tab II.2 : Caractéristiques thermo-physiques de matériaux métalliques..... 24	24
Tab II.3 : Propriétés thermiques de quelques matériaux isolants. 25	25
Tab III.1. Mesures Rayonnement solaire expérimentaux..... 42	42
Tab .III.2. Mesures de la température de sortie de l'air et configuration du capteur..... 45	45
Tab .III.3. Mesures de la température de sortie de l'air et configuration du capteur..... 45	45
Tab .III.4. Mesures de la température de sortie de l'air et configuration du capteur..... 45	45
Tab .III.5. Mesures de la température de l'absorbeur et configuration du capteur..... 48	48
Tab .III.6. Mesures de la température de l'absorbeur et configuration du capteur..... 48	48
Tab .III.7. Mesures de la température de l'absorbeur et configuration du capteur..... 48	48



Introduction

Introduction Générale :

L'épuisement des ressources énergétiques fossiles est inévitable devant la forte consommation énergétique mondiale. D'une part, l'homme a s'intéresser à des sources d'énergie renouvelable au premier rang desquelles l'énergie solaire. D'autre part, le réchauffement climatique causé par l'émission des gaz à effets de serre a conduit beaucoup de pays à s'intéresser à des énergies propres.

L'énergie renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de l'homme. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le soleil (rayonnement), mais aussi la lune (marée) et la terre (énergie Géothermique).

L'énergie solaire est considérée comme l'une des importantes sources d'énergie moderne, elle est naturelle, non polluante, permanente d'une part et gratuite d'autre part. L'un des plus importants développements industriels du siècle est celui de la conversion directe de l'énergie solaire en énergie thermique.

Cette étude s'intéresse à la conversion de l'énergie solaire à l'énergie thermique en utilisant les capteurs solaires plans à air. L'amélioration des performances thermiques de ces capteurs repose sur plusieurs techniques, parmi elles celles qui consistent à accroître la surface d'échange totale par introduction de surfaces secondaires sous forme d'obstacles métalliques dites chicanes, fixées solidairement sur le plan d'écoulement inférieur ou bien sous l'absorbeur.

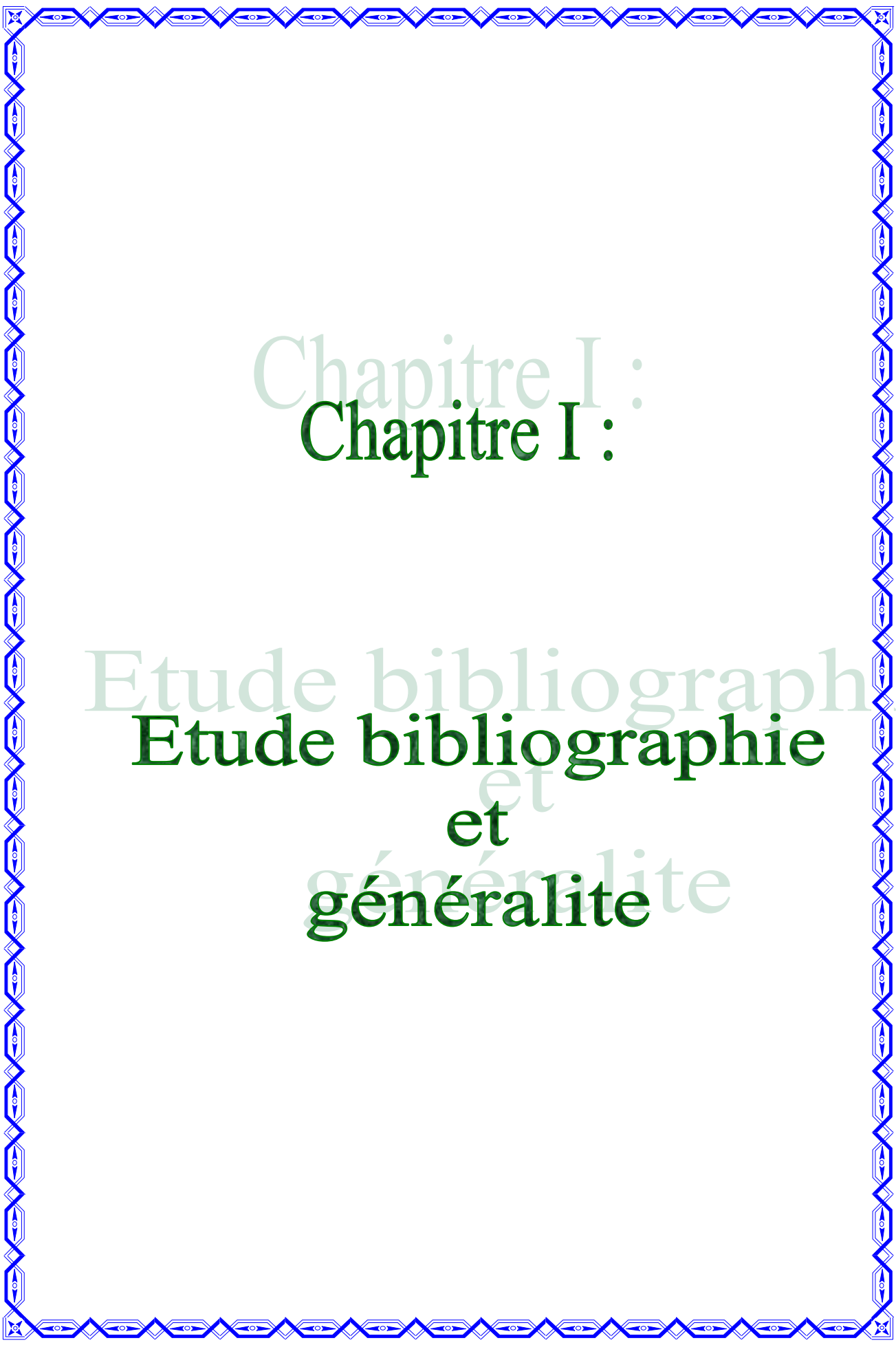
L'objectif principal de notre étude est de contribuer à l'optimisation des performances de ces systèmes. En premier lieu, nous essayons de comparer les résultats des mesures effectuées avec ceux obtenus par les modèles empiriques existants concernant le rayonnement solaire. En deuxième lieu et à travers des tests effectués, on essaye de voir la meilleure façon d'augmenter l'échange par adjonction de chicanes dans la veine d'air mobile. Il s'agit de choisir la meilleure position de la chicane. Soit placée sur la plaque inférieure ou bien sous l'absorbeur. Pour cet objectif, on a comparé entre les performances de trois configurations différentes : la première est un capteur solaire plan à air sans chicane, la deuxième

configuration est un capteur muni de chicane placée sur la plaque inférieure et la troisième, c'est un capteur muni de chicane placée sous l'absorbeur dans le canal d'écoulement.

Ce mémoire est subdivisé en trois chapitres ; le premier est une étude bibliographique et généralité. Nous y donnons quelques recherches réalisées sur les capteurs solaires plans, mettant en évidence l'aperçu de la ressource de l'énergie solaire, paramètres de position, le temps solaire et le rayonnement solaire.

Le deuxième chapitre est consacré à une étude théorique et modélisation des coefficients d'échange thermique de capteur solaire plan.

Le troisième chapitre présente une étude expérimentale avec les différentes instrumentations ainsi que les différents résultats obtenus avec leurs interprétations.



Chapitre I :

Etude bibliographie et généralite

Introduction :

La production de l'énergie thermique à partir de l'énergie solaire est aujourd'hui une des techniques les plus prometteuses pour répondre aux besoins énergétiques mondiaux.

Actuellement il y a plusieurs millions de m^2 des capteurs et de systèmes solaires installés dans le monde utilisant les technologies les plus récentes.

La plus grande part de recherche est consacrée au développement des capteurs solaires du point de vue performance thermique en général tenant en compte de tout les paramètres qui influent sur leur comportements, nous entendons ici les paramètres de conception (géométriques, thermo-physiques et optiques).

I.1.Recherches réalisées sur les capteurs solaires plans:

N. Nijegorodov et al (1996), ont présenté dans une étude expérimentale une méthode graphique pour mesurer les efficacités moyennes et instationnaires d'un capteur plan. Egalement, ils ont obtenu le coefficient global des pertes de chaleur et les facteurs de pertes optiques pour les deux systèmes. Cette méthode peut être utilisée pour une comparaison entre la performance des différents capteurs et concentrateurs. [01]

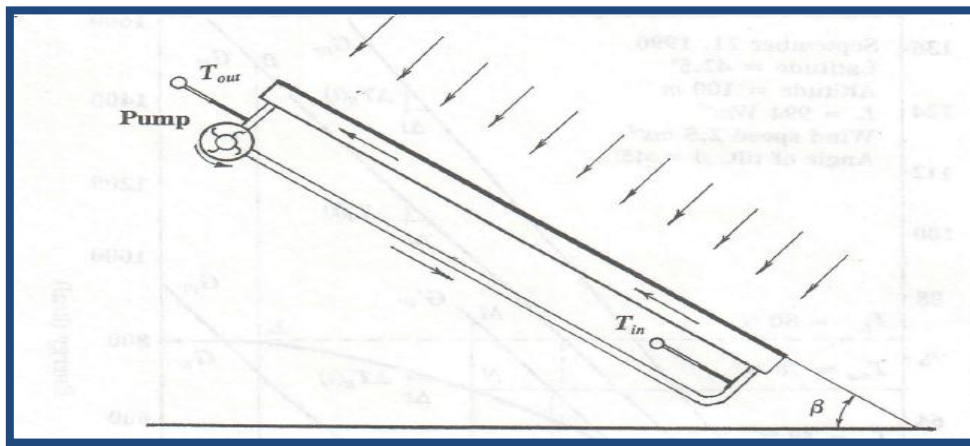


Fig. (I.1) : le schéma de l'installation expérimentale pour la mesure graphique. **N. Nijegorodov et al (1996)**

A. Benkhelifa (1998), a présenté un modèle mathématique pour étudier l'influence de quelques paramètres sur le coefficient de perte thermique vers l'avant du capteur. Le model permet de calculer ces pertes thermiques. Il a trouvé que l'augmentation du coefficient de pertes thermiques dépend de l'augmentation de l'émissivité de l'absorbeur ainsi que sa température et le coefficient d'échange convectif avec l'air ambiant, mais, l'accroissement de la distance entre l'absorbeur et la vitre diminue les pertes thermiques. [02]

A. Ahmed-Zaïd et al (2001), présentent une comparaison entre les résultats obtenus dans les cas du capteur solaire muni d'obstacles et du capteur sans obstacles (SC). Les différentes formes étudiées, à la fois simples et intéressantes, concernent, comme le montrent Fig.(I.2), Fig.(I.3),et Fig.(I.4) ,les chicanes Delta Cintrées Longitudinalement (DCL), Ogivales Cintrées Longitudinalement (OCL) et Transversales-Longitudinales (TL).

Chicanes Delta Cintrées Longitudinalement (DCL), Ogivales Cintrées Longitudinalement (OCL) et Transversales-Longitudinales (TL).



Fig. (I.2) : Disposition des obstacles DCL

A. Ahmed-Zaïd et al (2001)



Fig.(I.3) :Disposition des obstacles OCL

A. Ahmed-Zaïd et al (2001)

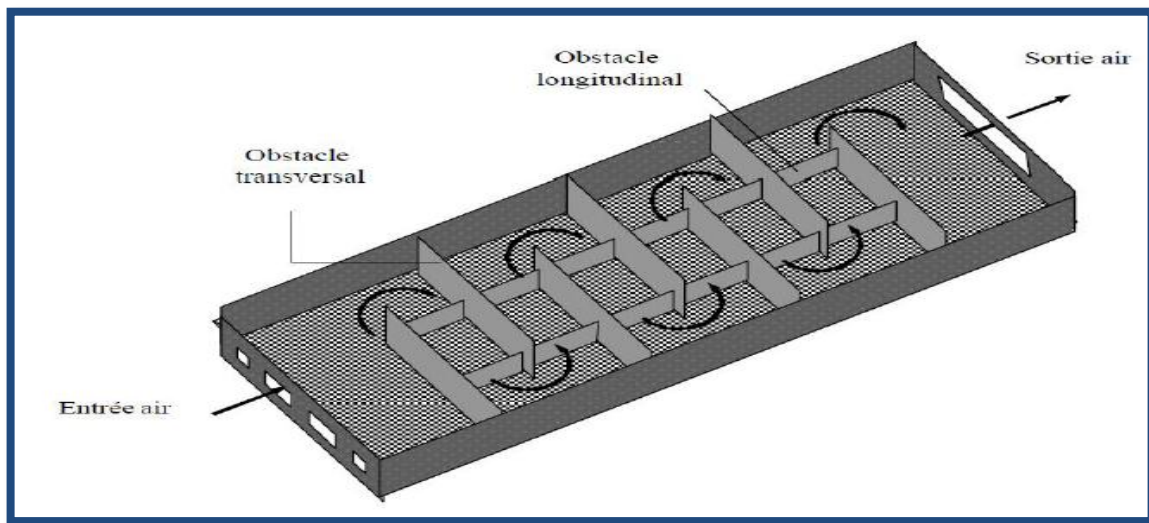


Fig.(I.4) :Capteur muni d'obstacles TL **A. Ahmed-Zaïd et al (2001)**

Cette étude a montré que l'usage des chicanes dans la veine dynamique d'un capteur solaire plan demeure un moyen efficace pour l'amélioration de ses performances.

L'ensemble des résultats présentés montre bien la nette amélioration apportée par l'utilisation des obstacles TL et DCL. [03]

N.Moummi et al(2004), leur travail s'est intéressé aux capteurs plans à air avec des chicanes rectangulaires placées perpendiculairement sur le plan d'écoulement dans la veine fluide mobile du conduit, ce qui a permis de produire au sein de la lame un courant d'air plus turbulent entre l'absorbeur et la plaque arrière en bois, ce qui a aboutit à une amélioration du rendement de ces capteurs solaires et le coefficient du transfert. Les résultats sont comparés avec ceux obtenus avec un capteur solaire sans chicanes Fig.(I.4), en utilisant deux types d'absorbeurs sélectifs et non sélectifs en aluminium peint en noir. [04].

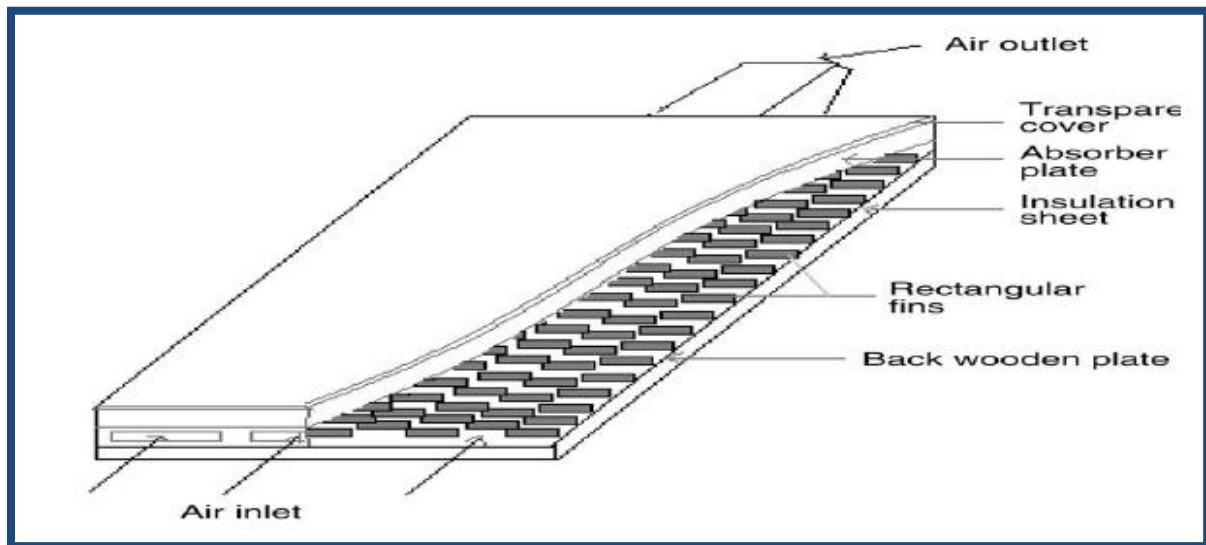


Fig.(I-5) : Capteur avec des chicanes rectangulaire sur la plaque inférieure en bois. **N. Moummi et al (2004)**

L'évolution des profils de la température de l'air et de la plaque de l'absorbeur en présence des chicanes rectangulaires, montre que les valeurs enregistrées sont satisfaisantes par suite d'addition de plusieurs rangées de chicanes, ce qui a permis d'augmenter sensiblement la qualité du transfert de la chaleur, ces même résultats obtenus sont comparées à ceux enregistrés avec un capteur muni d'un absorbeur sélectif, ou il ne représente pas d'améliorations remarquables par rapport à celui en présence de chicanes Fig.(I.5). Par conséquent les pertes thermiques sont considérables, alors que si l'absorbeur est sélectif, les pertes sont relativement réduites et la différence des coefficients d'émission est dédommée par la présence des chicanes qui refroidissent l'absorbeur.

Elle donne aussi une approche approximative sur le calcul du coefficient de transfert convectif dans le conduit utile de l'écoulement de l'air.

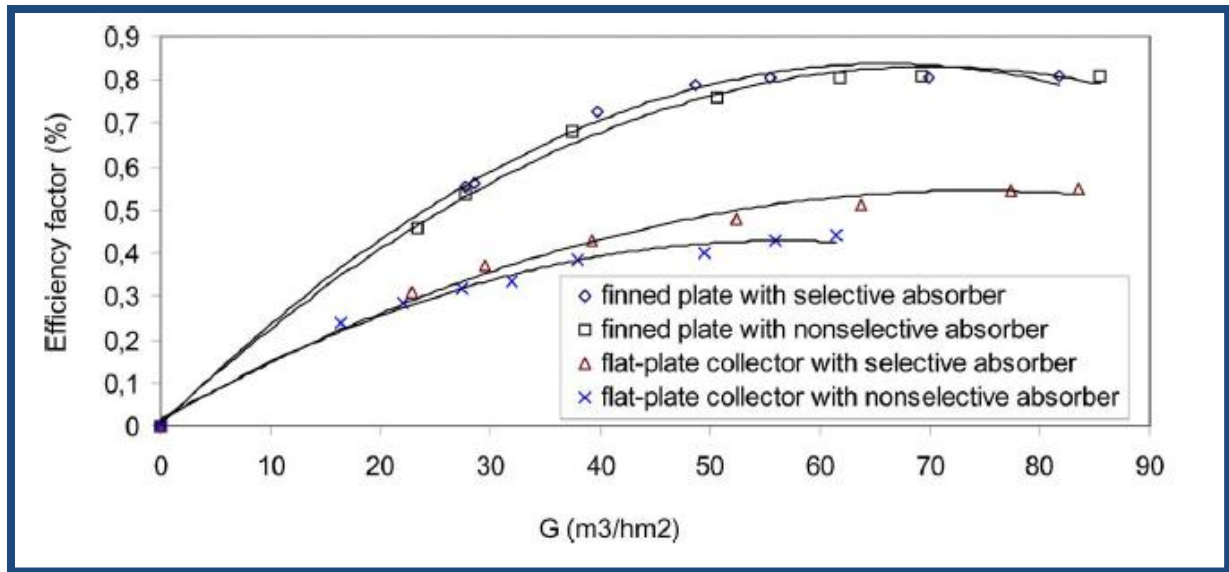


Fig.(I-6) : Evolution du rendement du capteur en fonction du débit volume de l'air pour les deux configurations de capteurs (avec chicane et absorbeur sélectif) (N.Moummi et al (2004))

S. Youcef-Ali (2005) a étudié expérimentalement un capteur solaire, auquel il a ajouté des plaques rectangulaires minces orientées parallèlement à l'écoulement et soudées à la face inférieure de l'absorbeur (comme montré sur le schéma ci-dessous).

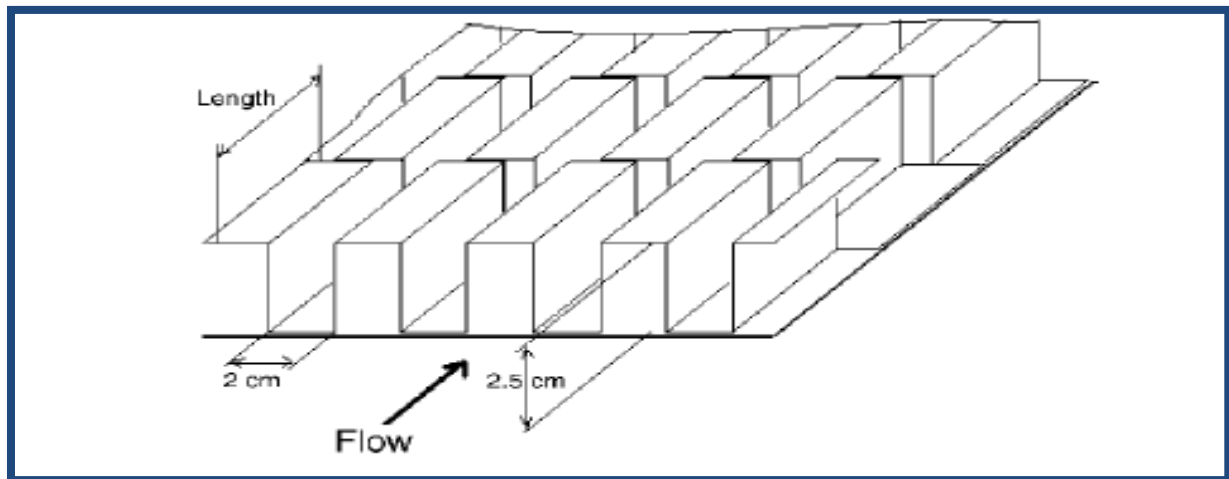


Fig (I.7) : Plaques rectangulaires minces orientées parallèlement à l'écoulement et soudées à la face inférieure de l'absorbeur (S. Youcef-Ali (2005)).

Dans le même travail, il a comparé expérimentalement le cas d'un capteur à doubles couvertures à celui à triples couvertures.

Il a montré que les plaques ajoutées augmentent le transfert thermique entre l'absorbeur et l'air ce qui réduit ses pertes vers l'extérieur, et par conséquent un rendement supérieur à celui

d'un capteur avec un absorbeur plat et simple grâce à l'obtention des quantités de chaleur plus élevées. [05]

D'autre part il a montré que la couverture triple donne des performances plus importantes que celles doubles, qui sont dues à la minimisation des pertes vers l'extérieur.

Fayza Benyelles et al (2007) ont proposé une nouvelle conception qui utilise l'aérogel de silice (matériaux poreux de faible conductivité thermique) comme un isolant placé au dessus de l'absorbeur. Figure (I-7)

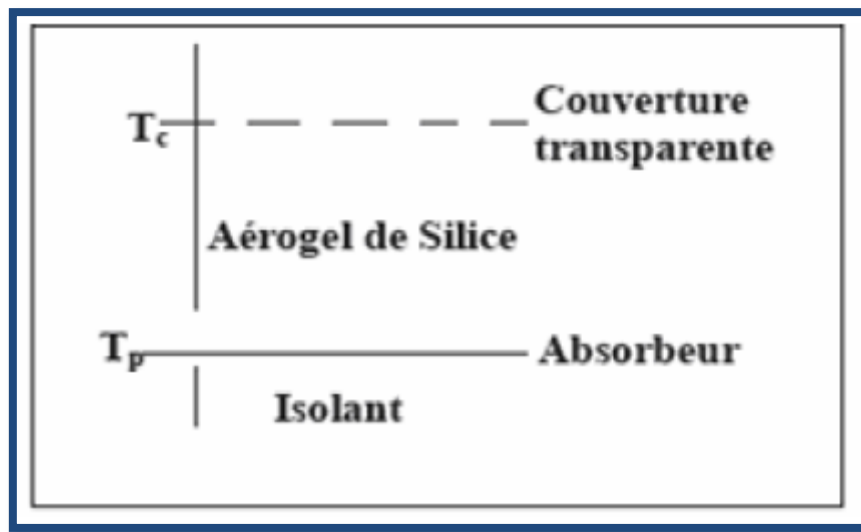


Fig (I.8) : Conception des capteurs à aérogel de silice (Fayza Benyelles et al (2007))

Ce nouveau capteur a été comparé avec d'autres capteurs plans, de simple ou double vitrage, avec ou sans absorbeur sélectif. Le coefficient de pertes par conduction et par rayonnement à travers l'isolant (en tenant compte des paramètres optiques du matériau) et le coefficient de pertes globales du nouveau dispositif ont été estimés. A partir de la comparaison faite, ils ont conclu que l'aérogel est un super isolant transparent de la face avant du capteur solaire plan [06]

K. Aoues et Al (2008) ont mené un travail théorique en vue d'améliorer le coefficient de transfert convectif entre l'air et l'absorbeur, en plaçant des chicanes cylindriques perpendiculairement à l'écoulement dans la veine d'air dynamique entre l'absorbeur et l'isolant fig (II-8). [07]

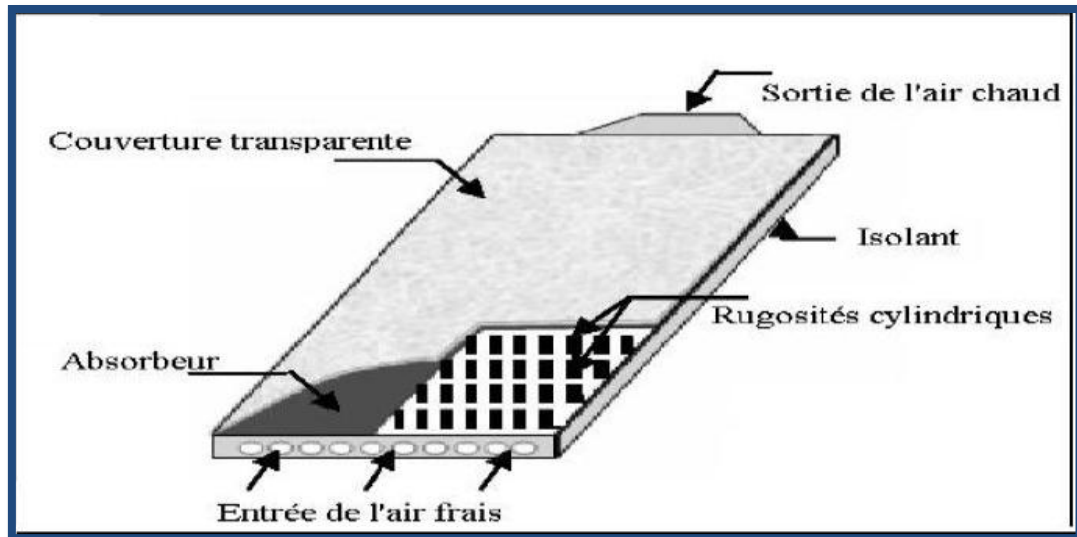


Fig (I.9) : Capteur plan à air muni de rugosités cylindriques

Les auteurs ont étudié les trois cas suivants Fig (I.10):

- Le capteur plan à air dépourvu de chicanes.
- Le capteur plan à air muni de chicanes cylindriques arrangées en rangées alignées.
- Le capteur plan à air muni de chicanes cylindriques arrangées en quinconces.

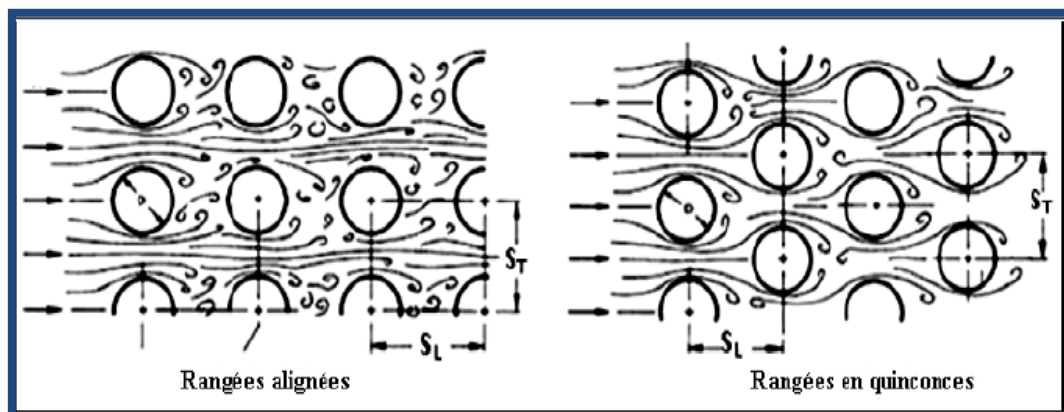


Fig (I.10): Les différents arrangements des chicanes cylindriques.

Les auteurs ont trouvé que le meilleur rendement est obtenu avec des chicanes cylindriques arrangées en quinconce, et le plus bas pour le capteur lisse.

I.2. Aperçu sur la ressource de l'énergie solaire :

I.2.1. Généralités sur le soleil :

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1 391 000 km (100 fois celui de la Terre), sa masse est de l'ordre de 2.10^{27} tonnes.

Toute l'énergie du Soleil provient de réactions thermonucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564.10^6 tonnes d'hydrogène en 560.10^6 tonnes d'Hélium, la différence de 4 millions de tonnes est dissipée sous forme d'énergie ($E = mc^2$), ce qui représente une énergie totale de 36.10^{22} kW. La Terre étant à une distance de 150.10^6 km du Soleil, elle reçoit une énergie de $1,8.10^{17}$ W.

La valeur du flux de rayonnement solaire E reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne E_0 est appelée la constante solaire, elle vaut $E_0 = 1353 \text{ W.m}^{-2}$. En première approximation, on peut calculer la valeur de E en fonction du numéro du jour de l'année j par :

$$E = E_0[1 + 0.033 \cos (0.984j)] \quad (\text{I.1})$$

On trouvera sur la fig. (I-10) la répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère.

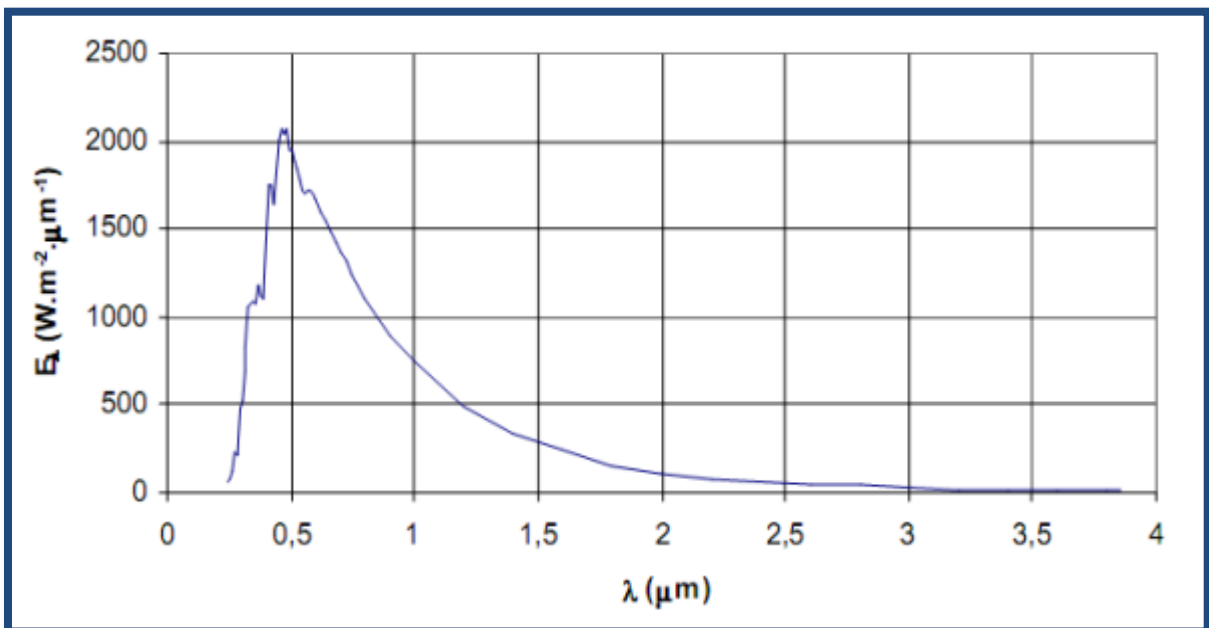


Fig (I.11)- Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère.

On notera que 98% du rayonnement solaire est émis dans des longueurs d'onde inférieures à $4\text{ }\mu\text{m}$. En première approximation, le rayonnement solaire peut être assimilé au rayonnement d'un corps noir à une température de 5777 K . [08]

I .2. 2. Présentation générale :

Le soleil est situé au centre d'un système dit « système solaire » dont la terre faite partie avec d'autres planètes.

Le Soleil a une forme sphérique qui est constitué d'hydrogène (71%), d'hélium (27%), et d'autres éléments, plus lourds (2%). Au centre du Soleil, la température atteint environ 16 millions de degrés Celsius, en surface la température du soleil est d'environ 5900 K ,

La fig. I.11 montre la structure du soleil.

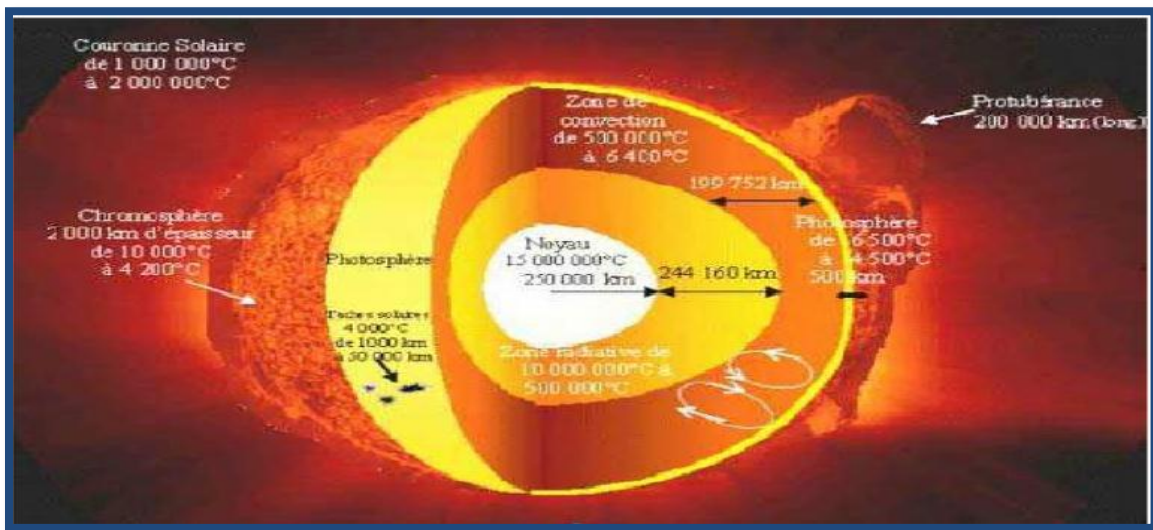


Fig. (I.12)- Structure du soleil.

I .2. 3. Evolution :

Pendant les cinquante premiers millions d'années de son existence, le soleil s'est contracté Jusqu'à atteindre approximativement sa taille actuelle. L'énergie gravitationnelle libérée par ce mouvement a chauffé l'intérieur de l'astre et, lorsque le noyau s'est révélé suffisamment chaud, la contraction a cessé pour laisser place à la réaction de fusion thermonucléaire.

La durée de vie du soleil dépend de la quantité d'hydrogène qui reste à consommer, on Estime qu'il existe depuis environ 4.5 milliards d'années, et subsistera, tel qu'il est, pendant Au moins encore 5 milliards d'années.

Lorsque le soleil aura épuisé ses réserves d'hydrogène, il changera de structure. Sa surface externe s'étendra au-delà de l'orbite actuelle de la terre ou il se transformera en une géante rouge, légèrement plus froide en surface qu'actuellement, mais 10 000 fois plus brillante en

raison de sa taille gigantesque. Le soleil demeurera une géante rouge, brûlant l'hélium dans son noyau, pendant un demi-milliard d'années seulement, après ce stade, le noyau résiduel du soleil s'effondrera pour former une étoile naine blanche petite de la taille de la terre environ, il se refroidira alors lentement pendant plusieurs milliards d'années, La fig. (I.12) donne le cycle de vie du soleil.

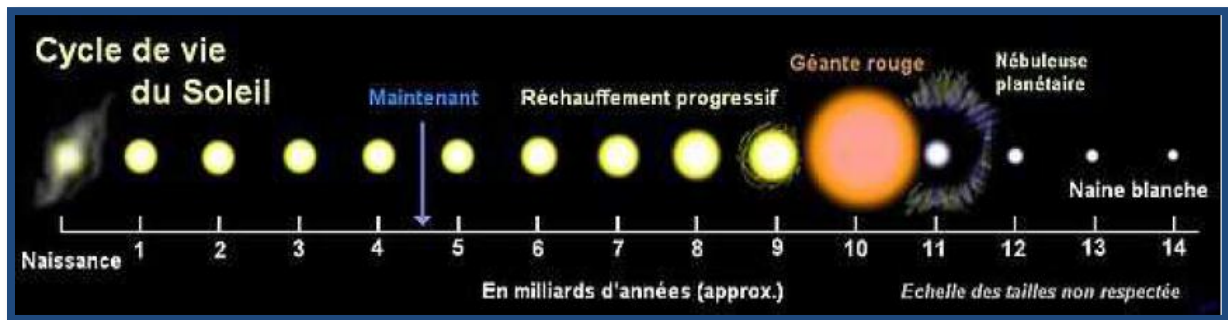


Fig. (I.13)- Cycle de vie du soleil

I.3.L'énergie solaire :

L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil dans son rayonnement, direct ou diffus. Sur Terre Grâce à divers procédés elle peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou en biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou l'énergie thermique obtenue à partir de cette dernière.

I.3.1. Energie solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque.

I.3.2. Energie solaire thermique :

Le solaire thermique consiste à utiliser le rayonnement solaire on le transformant en énergie thermique.

Il se présente de différentes façons : centrales solaires thermodynamiques, chauffe-eau et chauffage solaires, rafraîchissement solaire, cuisinières et sécheurs solaires.

La production de cette énergie peut être soit utilisée directement (pour chauffer un bâtiment par exemple) ou indirectement (comme la production de vapeur d'eau pour entraîner des alternateurs et ainsi obtenir une énergie électrique).

I.3.3.Caractéristiques spécifiques de l'énergie solaire :

Certaines particularités de l'énergie solaire doivent être prises en compte pour optimiser son utilisation, les principales caractéristiques sont la dilution et l'intermittence.

- **La dilution :**

L'énergie du rayonnement solaire est un niveau d'énergie relativement réduit c'est ce qui est désigné connu sous le nom de dilution.

La dilution nécessite l'utilisation d'une surface importante de captation pour obtenir des puissances élevées ou bien de prévoir une concentration des rayons solaires pour obtenir des températures élevées.

- **L'intermittence :**

L'intermittence du rayonnement solaire et l'autre Caractéristiques spécifiques de l'énergie solaire ainsi que sa variation journalière et même suivant l'année, en effet l'énergie solaire est asservie aux conditions météorologiques. Dans les régions à climat tempéré, le problème de l'intermittence est difficile à résoudre.

Une solution souvent employée est d'envisager des stockages d'importances très variables suivant les applications envisagées. Par exemple il est nécessaire de prévoir un stockage quotidien et de l'utiliser durant la nuit de même de prévoir le stockage nébuleux qui correspond à des passages nuageux accidentels.

I.3.4.Paramètres de position:

Pour définir la position terre-soleil à un instant donné, on utilise les coordonnées suivantes :

I.3.4.1.Les coordonnées géographiques terrestres:

Sont des coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre (fig. I.13), à savoir :

- **Longitude (L):** est comptée positivement de 0 à +180° vers l'Est et négativement de 0 à -180° vers l'Ouest, à partir du méridien Greenwich.
- **Latitude (φ) :** permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. elle est comptée positivement de 0 à +90° vers le nord et négativement de 0 à -90° vers le sud.
- **Altitude (z):** L'altitude d'un point correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de la référence théorique (niveau moyen de la mer) on l'exprime généralement en mètre.

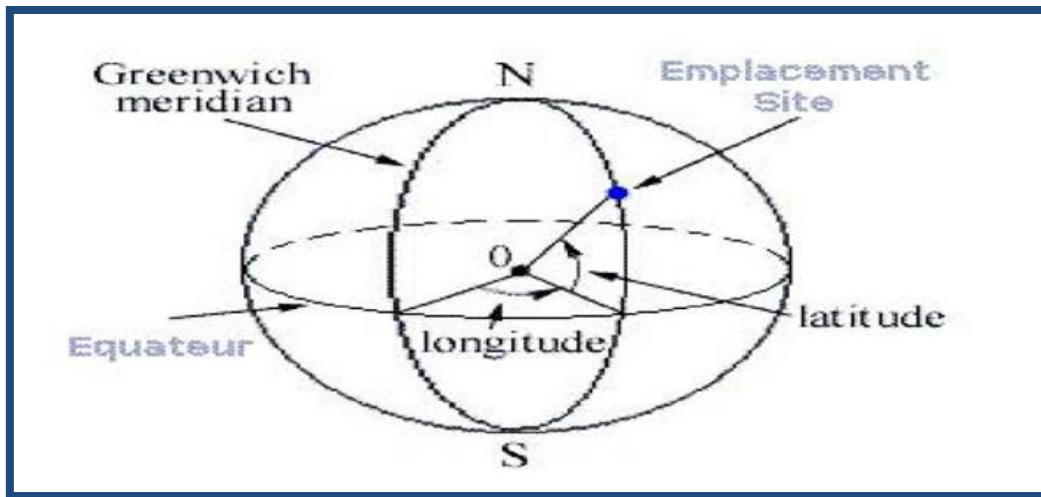


Fig. I.14. Coordonnées géographiques terrestres.

I.3.4.2. Les coordonnées horaires:

Les coordonnées horaires sont :

- **Angle horaire (w):** Est déterminé par la rotation régulière de la terre au tour de son axe. Elle est comptée positivement dans le sens rétrograde de 0 à +360°, une heure sidérale vaut donc 15° d'angle et $w=0^\circ$ (12h:00) au méridien de Greenwich.
- **Déclinaison (δ):** C'est l'angle fait par le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle est variée au cours de l'année de +23°27' à -23°27' et détermine l'inégalité des durées des jours. δ est donnée par la relation suivante :

$$\delta = 23,45^\circ \sin[0,980^\circ(j + 284)]$$

Où j est le numéro du jour de l'année.

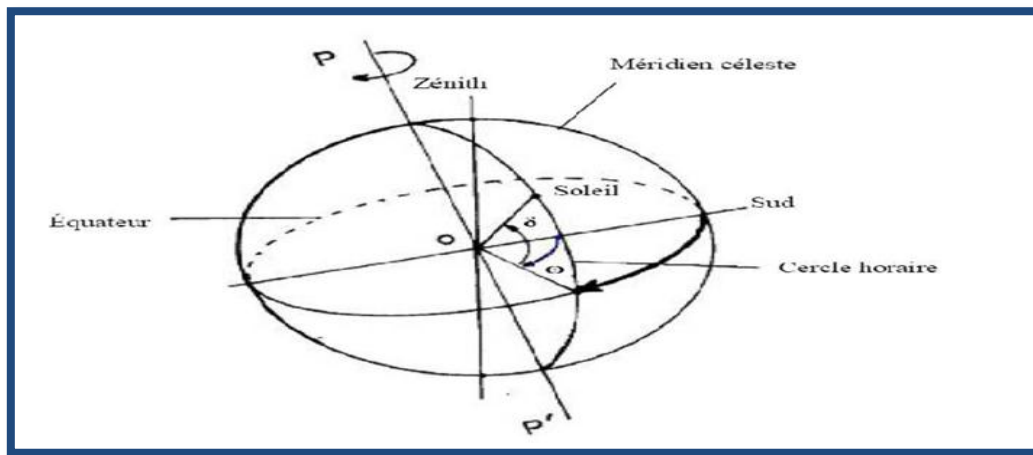


Fig. I.15. Les coordonnées horaires.

I.3.4.3. Les coordonnées horizontales:

déterminent la projection du soleil sur l'horizon du lieu (fig. I.15), et sont définies comme suit :

- **Hauteur du soleil (h):** C'est l'angle entre la direction du soleil et sa projection. Elle est comptée Positivement de 0 à +90° vers le zénith et négativement de 0 à -90° vers le nadir.

$$\sin h = \cos \varphi \cos \delta \cos w + \sin \varphi \sin \delta$$

- **Azimut (α):** C'est l'angle entre la direction de soleil et la direction de sud. On peut le compter positivement de 0 à +180° vers l'ouest et négativement de 0 à -180° vers l'est.

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta \sin w}{\cos h}$$

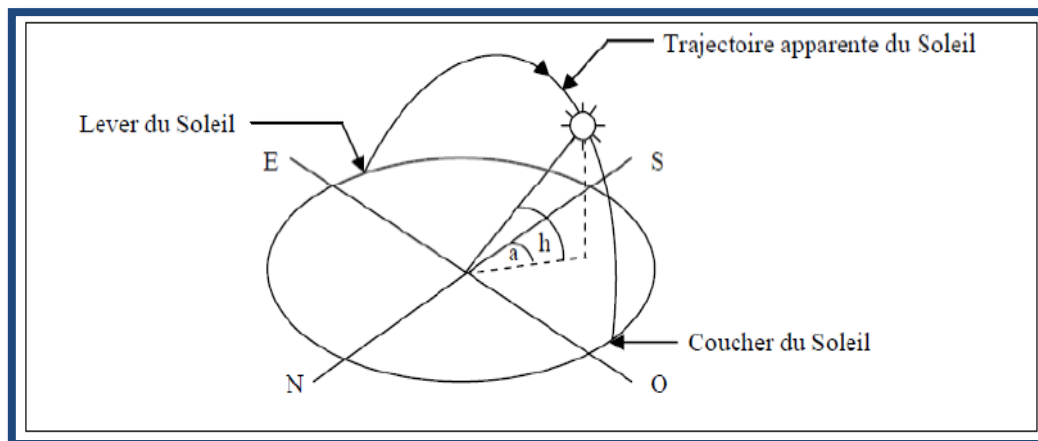


Fig. I.16. Les coordonnées horizontales.

I.3.5. Le temps solaire :

L'heure solaire est l'heure basée sur le mouvement du soleil dans le ciel. Le midi solaire correspond au moment où le soleil est le plus haut dans le ciel, ce moment est généralement décalé par rapport au midi de l'heure légale :

I.3.5.1. Temps solaire vrai (TSV):

Le temps solaire vrai, en un instant et un lieu donné, est l'angle horaire du soleil, Ce temps est indiqué par les cadrans solaires et les héliographes, Il est donné par l'expression:

$$\text{TSV} = 12 + \frac{w}{15}$$

I.3.5.2. Temps solaire moyen (TSM):

Le temps solaire moyen est appelé parfois temps local, Il est donné par la relation suivante :

$$\text{TSM} = \text{TSV} - \text{ET}$$

Où :

$$\text{ET} = 9,87 \sin \left[2 \cdot \frac{360}{365} (j - 81) \right] - 7,53 \cos \left[\frac{360}{365} (j - 81) \right] - 1,5 \sin \left[\frac{360}{365} (j - 81) \right]$$

ET: est l'équation du temps exprimée en minutes.

I.3.5.3. Temps civil:

Le temps civil est le temps moyen avec l'origine à minuit.

I.3.5.4. Temps universel (TU) :

C'est le temps civil moyen du méridien de Greenwich (méridien origine), appelé encore GMT (Greenwich Mean Time). Est donné par la relation suivante:

$$\text{TU} = \text{TSM} - \frac{L}{15}$$

I.3.5.5. Temps légal (TL) :

Le temps légal est une heure liée au TU par une différence fixe exprimée en un nombre entier d'heures qui dépend de la longitude et des coutumes de chaque pays. Est donné par la relation suivante :

$$\text{TL} = \text{TU} + \Delta H$$

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

I.3.6 .Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est une énergie produite par le soleil à la suite de réactions de fusion thermonucléaire qui dégage une très grande quantité d'énergie, source de la plupart des énergies disponibles sur terre et exploitable pour la production d'électricité .

L'énergie solaire se propage dans l'espace sous la forme de « grains », ou quanta d'énergie, les photons ; elle est sans cesse renouvelée.

I.3.6.1 Composante du rayonnement solaire :

Le rayonnement qui nous parvient du soleil est émis par sa surface extérieure dont la température est d'environ 6000 °K. A une telle température, 40% de l'énergie est émise dans le domaine visible (gamme de longueur d'onde allant de 0,3 μ m (violet - bleu) à 0,7 μ m (rouge). La décomposition du rayonnement solaire peut être réalisée en projetant un faisceau lumineux sur un prisme de verre ou sur un réseau de diffraction. Tout un éventail de couleurs apparaît, du bleu au rouge en passant par le vert et le jaune .

Chacune de ces couleurs est associée à un rayonnement d'une certaine longueur d'onde. William Herschell (Vers 1800) qui étudiait le rayonnement solaire, avait placé un thermomètre derrière un tel prisme. Il s'aperçut qu'il indiquait une élévation de température (et donc qu'il recevait de l'énergie) non seulement dans le domaine visible mais également dans la région au- delà du rouge. Ce fut la découverte du rayonnement infrarouge qui représente 50% du rayonnement émis par le soleil. Les 10% restant du rayonnement solaire total sont émis à l'opposé du domaine visible, à des longueurs d'onde plus petites que celles du violet (l'ultra violet).

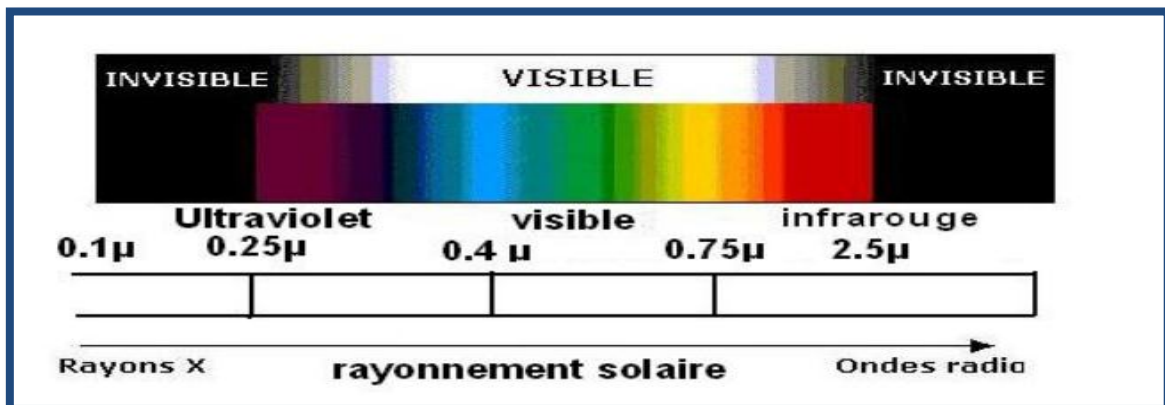


Fig. I.17. La longueur d'onde de rayonnement solaire .

I.3.6.2 Le rayonnement solaire au sol :

La variation de rayonnement solaire au sol en fonction de trois paramètres essentiels :

- L'intensité de l'énergie solaire réellement disponible à la surface de la Terre est inférieure à la constante solaire en raison de l'absorption et de la dispersion de cette énergie, due à l'interaction des photons avec l'atmosphère, les nuages ou encore les fumées produites par la pollution (CO_2 , le méthane CH_4 et le peroxyde d'azote N_2O).
- L'intensité de l'énergie solaire disponible varie en fonction de la situation géographique du site de captation. En Algérie, plus on est au sud plus on profite d'une irradiation importante du soleil. Au nord, moins l'irradiation solaire est importante, mais plus les besoins de chaleur sont importants : saison de chauffe plus longue, température extérieure plus basse, température de l'eau plus basse.
- puissance solaire disponible en tout point de la Terre dépend également du jour, de l'heure et de la latitude du point de réception. de plus, la quantité d'énergie solaire captée est fonction de l'orientation du récepteur, pour cela il faut faire une étude astronomique.

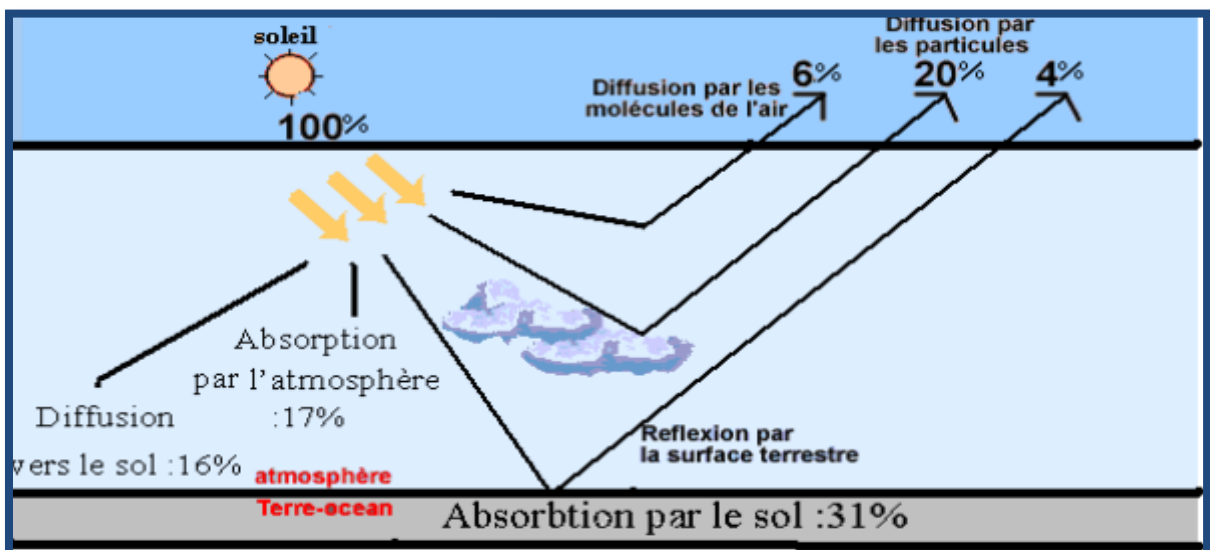
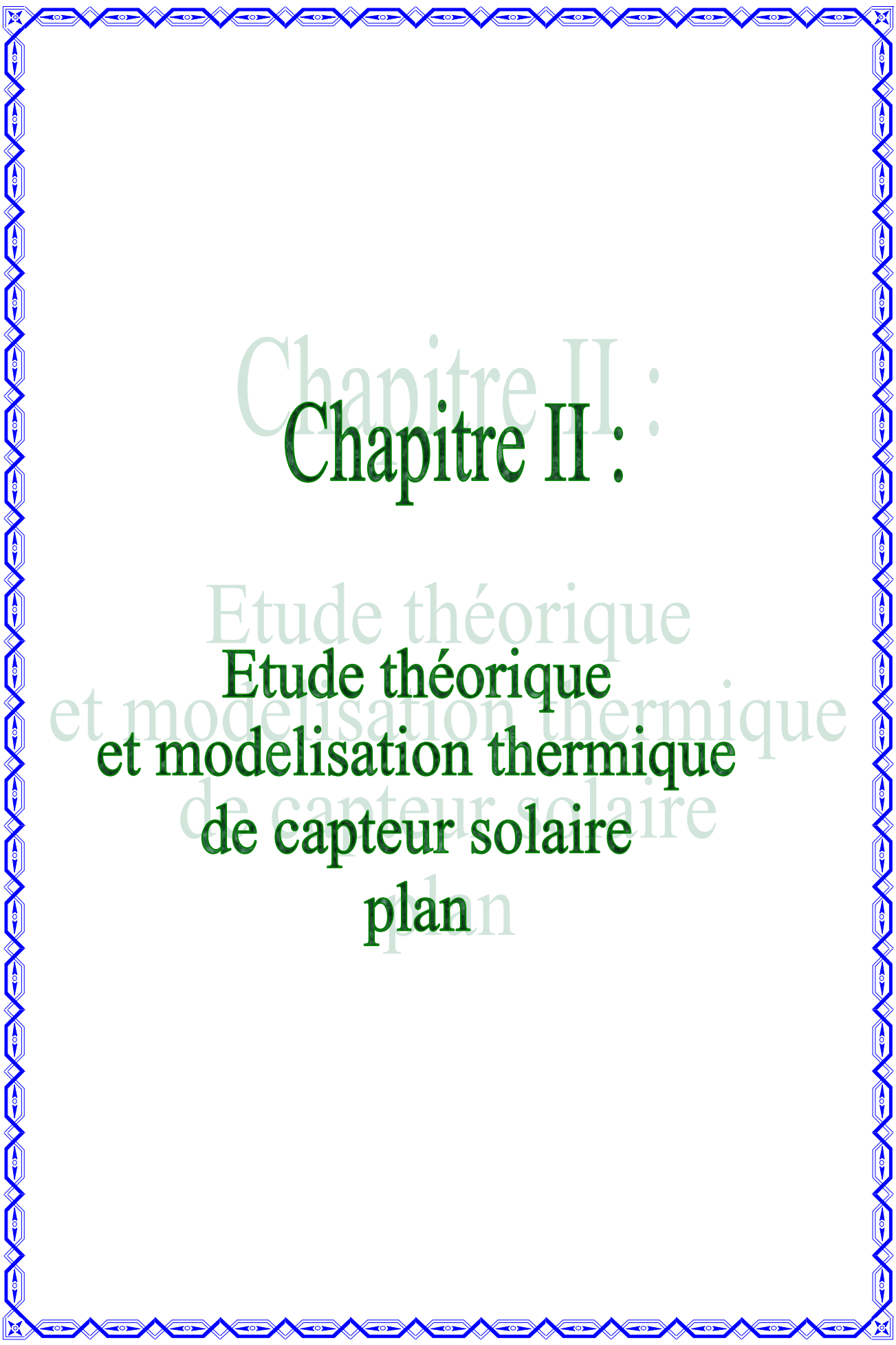


Fig. I.18. Bilan du rayonnement solaire arrivé au sol.

Conclusion:

A partir de cette étude bibliographique consacrée aux capteurs solaires, on a pu constater que leurs performances dépendent essentiellement des paramètres thermo physiques, optiques et géométriques.

L'énergie solaire est disponible sur toute la surface de notre planète. L'exploitation de cette énergie peut se faire de deux manières: énergie thermique et l'énergie photovoltaïque.



Chapitre II :

Etude théorique
et modélisation thermique
de capteur solaire
plan

Introduction :

Les capteurs solaires sont des dispositifs dont le principe de fonctionnement est basé sur la transformation de l'énergie solaire en chaleur. Dans cette partie une étude théorique de capteur solaire plan a été avancée en détaillant ses différents composants, son fonctionnement Et les différentes corrélations permettant d'évaluer les coefficients des échanges thermiques mis en jeu au sein du capteur.

II.1. Les capteurs solaires :

Un capteur solaire (fig. II.1) est un dispositif qui absorbe le rayonnement solaire et le convertit en chaleur qui sera transmise à un fluide "fluide caloporteur".

Ce système de captage a pour base l'effet de serre où le rayonnement est capté dans le domaine du visible et du proche infrarouge (longueurs d'ondes comprises entre 0.3 et 3 μm), il traverse la vitre et il est piégé à l'intérieur où il est capté par la surface absorbante.

L'absorbeur émet du rayonnement thermique dans un domaine de l'infrarouge éloigné du visible (entre 4 et 30 μm). Ce rayonnement est totalement arrêté par la paroi du verre qui s'échauffe et rayonne par moitié vers la surface absorbante et par moitié vers l'extérieur. Le fluide qui circule sous cette paroi récupère par convection une partie de cette énergie absorbée et subit une élévation de température à la traversée du capteur.

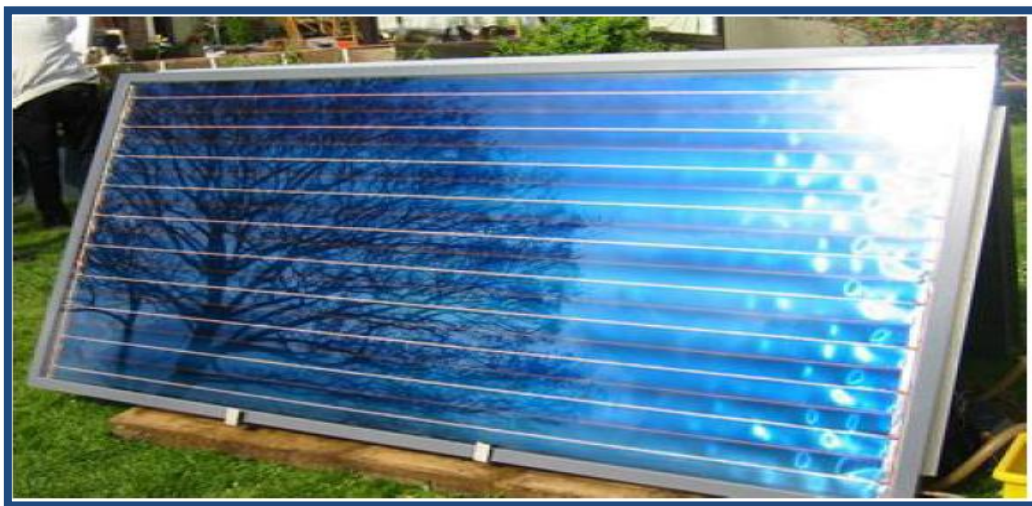


Fig. II.1.Capteur solaire thermique.

II.2. Description du capteur plan :

Un capteur plan utilise l'effet de serre et parvient à récupérer environ 50% de l'énergie incidente.

Il se compose des éléments suivants : le vitrage, l'absorbeur, l'isolant et le fluide caloporteur.

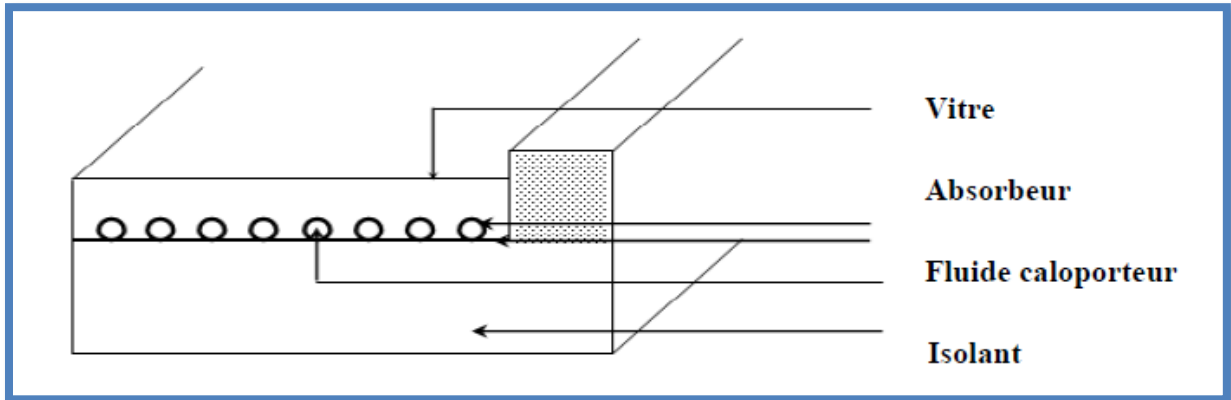


Fig. II.1. Composants d'un capteur solaire plan

II.2.1. Le vitrage (couvercle) :

La couverture est la surface à travers laquelle le rayonnement solaire non concentré est admis dans le capteur. On ne peut utiliser que des matériaux transparents. L'intérêt d'une couverture transparente habituelle pour le rayonnement solaire est d'autant plus grand que la température de fonctionnement du convertisseur est élevée. Cette couverture doit assurer trois fonctions essentielles :

- Recevoir le maximum du rayonnement incident sans réflexion ni diffusion importante.
- Transmettre la plus part du rayonnement reçu.
- S'opposer aux déperditions thermiques par convection et rayonnement.

Les inconvénients du verre sont sa fragilité, son poids et son prix élevé en double vitrage. L'inconvénient principal des matériaux plastiques est la dégradation de certaines de leurs propriétés avec le temps pour certains, ou le prix élevé pour d'autres. Le tableau II. 1 fournit quelques indications sur ces matériaux:

Matériau	Facteur de transmission solaire (%)	Masse volumique (kg/m ³)	Chaleur massique (J/kg.k)	Conductivité thermique (w/m.k)	Dilatation thermique (K ⁻¹)
Verre	85-92	2700	840	0.93	0.9×10^{-5}
Polycarbonate	82-89	1200	1260	0.2	6.6×10^{-5}
Polyméthacrylate	89-92	1200	1460	0.2	7×10^{-5}
Polyester armé	77-90	1400	1050	0.21	3.5×10^{-5}
Polytéréphtalate	84	1.38	1170	0.25	7×10^{-5}
Ethylène					
Polyfluoroéthylène	97	2.15	1170	0.25	10^{-4}
Opoylène					
Polyflurure	93	1.50	1380	0.12	4×10^{-5}
Vinyle					

Tab II.1 : Propriétés de quelques surfaces transparentes au rayonnement solaire mais opaques au rayonnement infrarouge.

II.2.2. L'absorbeur:

Il a pour fonction d'absorber le rayonnement solaire incident, de le convertir en chaleur et de transmettre celle-ci à un fluide caloporteur, tout en minimisant les pertes. En général, l'absorbeur n'est qu'une plaque plane en métal dont la couche superficielle donnant sur le soleil, doit être dotée d'un coefficient d'absorption le plus élevé possible. Les meilleurs coefficients sont

de l'ordre de 0.95.

L'absorbeur doit assurer les fonctions suivantes :

- Absorber la plus grande partie du rayonnement incident.
- Transmettre la chaleur produite par cette absorption vers le fluide caloporteur.
- N'accepter que le minimum d'échanges thermiques vers l'extérieur pour rendre efficace cette partie.

Métal	Conductivité thermique (w/m.K)	Chaleur massique (J/kg-k)	Masse volumique (kg/m ³)	Diffusivité (10 ⁻⁶ m ² /s)
Cuivre	384	398	8900	108
Acier Inoxydable	14	460	7800	04
Aluminium	204	879	2700	86

Tab II.2 : Caractéristiques thermo-physiques de matériaux métalliques.

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

II.2.3. L'isolant :

L'absorbeur doit transmettre l'énergie captée au fluide caloporteur en évitant les pertes thermiques par conduction, par 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. En plaçant deux vitres, on limite les pertes dues à la réémission ainsi que les pertes par conduction et par convection.

- **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.

Le choix du matériau à utiliser dépend de:

- Sa résistance aux températures de fonctionnement.
- La permanence de ces caractéristiques dans le temps (conductivité thermique).
- La résistance aux chocs, à l'humidité, au feu, à l'eau de pluie....etc.

Matériau	Conductivité thermique (w/m.k)	Masse volumique (kg/m ³)	Chaleur massique (J/kg.k)	Diffusivité (10 ⁻⁷ m ² /s)
Air (à 20°C)	0.025	1.2	1003	208
Mousse de Polyuréthane	0.029	30	1600	6.0
Laine de verre	0.036	40	840	10.7
Polystyrène Expansé	0.040	20	1500	13.3
Papier journal Comprimé	0.105	130	1340	6.0
Bois de pin	0.118	500	1210	1.95
Plâtre	0.35	800	800	5.5

Tab II.3 : Propriétés thermiques de quelques matériaux isolants.

II.2.4. Le fluide caloporteur:

Pour évacuer la chaleur emmagasinée par la surface absorbante, on utilise habituellement soit l'air, soit l'eau, des mélanges eau glycol sont aussi employés à cause des conditions climatiques, ces mélanges ont une chaleur spécifique inférieure à celle de l'eau pure. Par rapport à l'eau, l'air n'a pas de problème de gel l'hiver ou d'ébullition l'été et il n'y a pas de problème de corrosion. Néanmoins l'air ne peut servir qu'au chauffage de locaux et les transferts thermiques sont moins bons qu'avec l'eau.

D'autre part, quelque soit le système, le contact entre les tuyaux véhiculant le fluide et la plaque absorbante doit être très intime, soit par emboutissage, soit par soudure. De même, l'espacement entre les tuyaux devra être rigoureusement calculé en fonction du diamètre du tuyau de l'épaisseur de la plaque et des matériaux employés. Les tuyaux de circulation du fluide en contact avec l'absorbeur seront de préférence placés en parallèle plutôt qu'en serpentin

II.3. Différents types capteurs solaires à plan:

II.3.1. Le capteur solaire à eau :

Le capteur solaire thermique à eau est constitué principalement d'une couverture transparente, d'un absorbeur, d'un conduit permettant à l'eau de collecter l'énergie cédée par l'absorbeur, et d'un isolant. La fig. (II-2) représente le principe de fonctionnement d'un tel capteur.

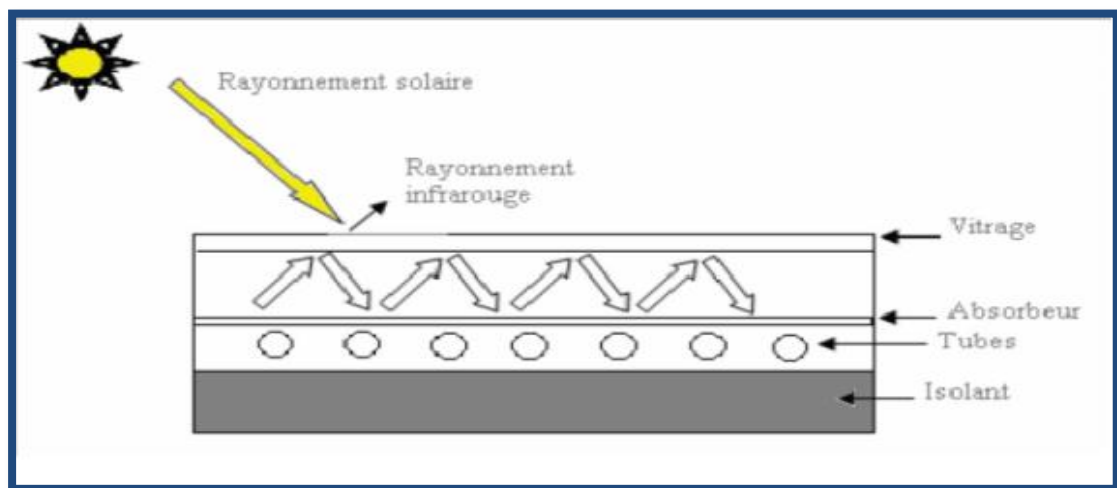


Fig II-2 : capteur solaire thermique à eau, vue en coupe. Les conduits d'eau sont ici intégrés dans l'absorbeur.

Le principe est le suivant : le rayonnement solaire, dont le spectre se situe essentiellement dans les longueurs d'onde du visible (courtes longueurs d'onde), passe à travers la couverture Transparente (constituée ici d'un vitrage), et arrive à l'absorbeur, celui-ci s'échauffe, et transmet de l'énergie thermique par convection à l'eau qui circule dans les conduits, et réémet du rayonnement thermique vers l'extérieur (grande longueur d'onde). L'isolant permet de réduire les Pertes thermiques du capteur.

On peut distinguer deux types de systèmes :

- Les systèmes à basse pression de circulation très simple, à eau chaude sans pression.
- Les systèmes à haute pression, à eau chaude à haute pression utilisant une pompe.

II.3.1. Le capteur solaire à air :

Contrairement au capteur à eau où le fluide passe dans les tuyaux, le conduit d'air est en générale formé par l'espace situé entre la couverture et l'absorbeur. De même que pour le capteur à eau, l'écoulement peut être forcé ou naturel. Le coefficient de transfert de chaleur de l'air est approximativement de deux ordres de grandeurs plus faible que celui de l'eau.

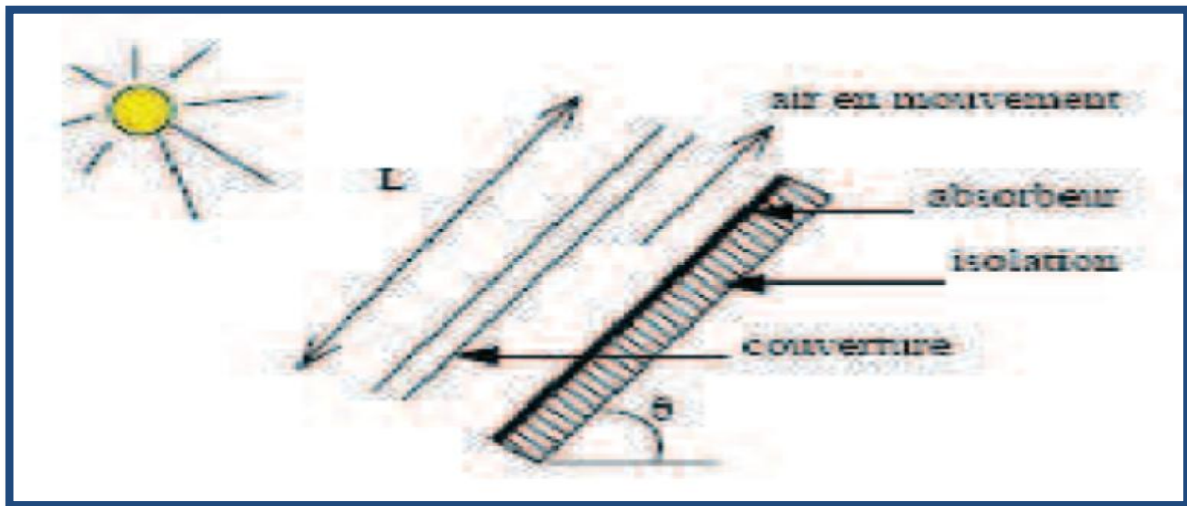


Fig II-3 : Capteur à air.

II.4 Les paramètres influant sur le fonctionnement d'un capteur solaire :

L'efficacité thermique du capteur solaire dépend fortement du matériel, de la forme, des dimensions, de la disposition du capteur et des conditions environnantes. Tous ces facteurs peuvent être classés en deux catégories principales :

II.4.1. Les paramètres externes :

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

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

II.4.2. Les paramètres internes :

Paramètres géométriques :

- Les paramètres de position : angle d'inclinaison, orientation du capteur.
- La surface du capteur.

- Les dimensions de différents éléments : épaisseur, longueur et largeur.

Paramètres de fonctionnement :

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

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

II.5.Performances d'un capteur solaire :

La performance thermique d'un capteur plan est de déterminer son rendement instantané défini par la formule:

$$\eta = \frac{\rho C_p Q_v (T_s - T_a)}{G^* \cdot A} \quad \text{II. 01}$$

Ou :

ρ :est la masse volumique [kg/m^3].

C_p : est la capacité calorifique [J/kg. K].

Q_v : est le débit volumique en [m^3/s].

A : surface du capteur en m^2 .

G^* : est le rayonnement solaire incident en [w/ m^2].

T_s : est la température de sortie du capteur en[k].

T_a : est la température à l'entrée du capteur en[k].

II.6.Bilan thermique d'un capteur solaire plan :

Le bilan thermique d'un capteur rapporté à l'unité de surface est :

$$\Phi_g = Q_u + Q_p + Q_s \quad \text{II. 02}$$

Φ_g : Flux solaire absorbé en [w/m^2].

Q_u : Flux utile transmis au fluide caloporteur en [w/m^2].

Q_p : Flux perdu par la paroi absorbante en [w/m^2].

Q_s : Flux stocké dans le capteur en $[w/m^2]$.

Ce bilan se résume ainsi : le flux global Φ_g reçu par l'insolateur représente la somme de l'énergie utile Q_u emportée par le fluide caloporteur, des déperditions thermiques Q_p par les différents modes de transfert vers le milieu ambiant et l'énergie stockée Q_s dans les différentes parties de l'insolateur.

Dans le cas du régime thermique permanent et pour les capteurs à air, la quantité d'énergie stockée dans les différentes parties de l'insolateur est négligeable, ce qui conduit à :

$$\Phi_g = Q_u + Q_p \quad \text{II. 03}$$

II.7. Le rendement d'un capteur solaire " η " :

Le rendement thermique de l'insolateur représente le rapport de la puissance utile à la puissance incidente :

$$\eta = \frac{Q_u}{\Phi_g} = \frac{P_u}{A\Phi_g} \quad \text{II. 04}$$

Il peut être aussi donné en fonction du rapport de la différence de température

$(T_{fe} - T_a)$ au flux global incident Φ_g :

$$\eta = \frac{P_u}{A\Phi_g} = F_R(\tau_v \alpha_n) - F_R U_L \frac{T_{fe} - T_a}{\Phi_g} \quad \text{II. 05}$$

II.8. Modélisation des coefficients d'échange thermique :

En plus des hypothèses générales mentionnées pour la modélisation des capteurs utilisant la méthode globale, on pose les hypothèses particulières suivantes :

- La conduction thermique dans le sens de l'écoulement est négligeable.
- Le vent extérieur est supposé de direction toujours parallèle aux faces de l'insolateur.
- Les gradients transversaux de température dans l'absorbeur sont négligés (La conductivité thermique de l'absorbeur est supposée très grande).

Pour déterminer les divers coefficients d'échange thermique "h", les relations suivantes sont utilisées, selon qu'il s'agit d'un transfert par conduction, rayonnement ou convection.

II.8.1. Transfert thermique par conduction :

Les coefficients de transfert conductif à travers l'isolant et le bois vers l'arrière de l'insolateur sont donnés par :

$$\frac{\lambda_{is}}{e_{is}} \quad \text{et} \quad \frac{\lambda_b}{e_b} \quad \text{II.06}$$

Où :

λ_{is} et λ_b sont respectivement les conductivités thermiques de l'isolant et du bois et e_{is} et e_b sont respectivement les épaisseurs de l'isolant et du bois.

II.8.2. Transfert thermique par rayonnement :

On considère un transfert radiatif entre deux plaques parallèles de températures T_1 et T_2 (exprimées en kelvin). on applique la formule [19] :

$$h = \frac{\sigma(T_1 + T_2)(T_1^2 + T_2^2)}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} - \frac{1-\varepsilon_2 S_1}{\varepsilon_2 S_2}}$$

Où :

T_1 et T_2 sont les températures absolues des deux faces, supposées uniformes,

ε_i est l'émissivité du milieu i (de surface S_i).

F_{12} est le facteur de forme géométrique entre les surfaces S_1 et S_2 pris généralement pour les diverses parties de l'insolateur égale à 1.

σ est la constante de Stephan-Boltzmann.

▪ Entre la vitre et la voute céleste :

Rapporté par [20], le coefficient d'échange radiatif s'écrit :

$$h_{rc} = \frac{1}{2} \sigma \epsilon_v (1 - \cos \beta) (T_v + T_c) (T_v^2 + T_c^2) \quad \text{II. 07}$$

Ou :

β est l'inclinaison du capteur par rapport à l'horizontale et les températures T_v et T_c sont les températures absolues.

T_c est la température équivalente de la voute céleste donnée par la relation de Swinbank (1963) :

$$T_c = 0,0552 \cdot T_a^{1.5} \quad \text{II. 08}$$

Les températures T_c et T_a sont exprimées en kelvin.

▪ **Entre la vitre et l'absorbeur :**

$$h_{rnv} = \frac{\sigma (T_v + T_n) (T_v^2 + T_n^2)}{\frac{1}{\epsilon_v} + \frac{1}{\epsilon_{nmat}} - 1} \quad \text{II. 09}$$

Les températures T_v et T_n sont exprimées en kelvin.

▪ **Entre l'absorbeur et la plaque d'aluminium placée sur l'isolant :**

$$h_{rnAl} = \frac{\sigma (T_n + T_{Al}) (T_n^2 + T_{Al}^2)}{\frac{1}{\epsilon_{nAl}} + \frac{1}{\epsilon_{Al}} - 1} \quad \text{II. 10}$$

Les températures T_n et T_{Al} sont exprimées en kelvin.

II.8.3. Transfert thermique par convection :

On distingue deux types d'échanges convectifs :

- Ceux dus au vent.
- Ceux intervenant dans l'insolateur.

II.8.3.1. Transfert convectif du au vent :

La relation suivante de **Hottel** et **woertz** est généralement admise [09] :

$$h_w = 5,67 + 3,86 \cdot V_v \quad \text{II. 11}$$

Ou : V_v est la vitesse du vent en (m/s).

II.8.3.2. Transfert convectifs dans le capteur :

- Entre l'absorbeur et la vitre:

Le coefficient de pertes par conduction-convection naturelle, entre l'absorbeur et la vitre, rapporté dans s'écrit :

$$h_{\text{vnat}} = 1,42 \left[\frac{(T_n - T_a) \sin \beta}{L} \right]^{1/4} \quad \text{II. 12}$$

Les températures T_n et T_a sont exprimées en kelvin.

- Dans la veine d'air mobile :

En ce qui concerne la convection forcée, et dans le cas des conduits rectangulaires, l'échange entre l'absorbeur et le fluide caloporteur est caractérisé par le coefficient :

$$h_{\text{vnf}} = \frac{N_u \cdot \lambda_f}{D_H} \quad \text{II. 13}$$

Le nombre de Nusselt se calcule à partir de la corrélation de kays suivante :

$$N_u = 0,0158 R_e^{0,8} \quad \text{Pour} \quad L/D_H > 10 \quad \text{II. 14}$$

Ou le nombre de Reynolds est donné par :

$$R_e = V_f \frac{D_H}{\nu_f}$$

- Le coefficient d'échange entre la plaque d'aluminium et le fluide caloporteur est donné par :

$$h_{\text{vAlf}} = h_{\text{vnf}} \quad \text{II. 15}$$

- La vitesse de l'air dans le conduit mobile V_f , dépend des paramètres géométriques de la veine d'air utile.

La section de passage de l'air A_f dans la veine d'air mobile, est calculée comme suit :

-Capteur sans ailettes

$$A_f = l \cdot e \quad \text{II. 16}$$

- Le diamètre hydraulique est défini par le rapport de quatre fois la section de passage du fluide au périmètre mouillé. pour ne pas alourdir le texte .selon qu'il s'agit d'un capteur sans ou avec ailettes, on le calcule par :

-Capteur solaire sans ailettes

$$D_H = \frac{4 \cdot l \cdot e}{2 \cdot (1 + e)} = \frac{2 \cdot l \cdot e}{1 + e} \quad \text{II. 17}$$

II.9.Puissance absorbée " P_n ":

La puissance incidente Φ_g reçue par un mètre carré de surface d'insolateur incliné d'un angle β peut être déterminée théoriquement, elle s'écrit :

$$\Phi_g = \Phi_{b\beta} + \Phi_{d\beta}$$

Ou :

$\Phi_{b\beta}$: est la composante directe.

$\Phi_{d\beta}$: est la composante diffuse.

La puissance transmise à travers le vitrage est donc égale à $(\Phi_{b\beta} \cdot \tau + \Phi_{d\beta} \cdot \tau_d)$ en désignant par τ la transmittivité totale directionnelle et τ_d la transmittivité total hémisphérique.

L'absorbeur capte la fraction α_n de cette puissance transmise, et réfléchit vers le vitrage la fraction $(1 - \alpha_n)$. si r_{vd} est la réflectivité hémisphérique du vitrage, celui-ci réfléchit vers l'absorbeur la fraction $(1 - \alpha_n) \cdot r_{vd}$. Ce dernier absorbe à nouveau la fraction $\alpha_n (1 - \alpha_n) \cdot r_{vd}$ et réfléchit vers le vitrage la fraction $(1 - \alpha_n)^2 r_{vd}^2$ est, à nouveau, réfléchi vers l'absorbeur et ainsi de suite.

Après p réflexions sur le vitrage, la fraction réfléchi vers l'absorbeur est $(1 - \alpha_n)^p \cdot r_{vd}^p$ de sorte qu'après une infinité de réflexions, la puissance captée est :

$$\Phi_n = \sum_{p=0}^{\infty} (1 - \alpha_n)^p r_{vd}^p (\phi_{b\beta} \tau + \phi_{d\beta} \tau_d) = \frac{\alpha_n (\phi_{b\beta} \tau + \phi_{d\beta} \tau_d)}{1 - (1 - \alpha_n) r_{vd}}$$

Le rendement optique η_0 de l'insolateur défini par le quotient Φ_n / Φ_g , également appelé transmittivité-absorptivité effective, de l'insolateur et noté $(\tau_v \alpha_n)$ vaut donc :

$$\eta_0 = \tau_v \alpha_n = \frac{\alpha_n (\phi_{b\beta} \tau + \phi_{d\beta} \tau_d)}{(1 - (1 - \alpha_n) r_{vd}) (\phi_{b\beta} + \phi_{d\beta})} \quad \text{II. 18}$$

Pour la suite, on se limitera à déterminer la puissance Φ_n par m^2 de surface de captation de l'insolateur en utilisant la formule suivante :

$$\Phi_n = (\tau_v \alpha_n) \Phi_g \quad \text{II. 19}$$

II.10. Calcul des pertes thermiques " Q_p ":

Supposons que :

- Le régime est permanent.
- La puissance Q_v absorbée par la vitre est négligeable.
- Les températures de l'absorbeur et de la plaque d'aluminium sont confondues.

Ces hypothèses nous permettent d'exprimer les pertes globales de l'absorbeur " Q_p " par m^2 de surface de captation de l'insolateur à l'aide du coefficient de pertes U_L et l'inverse est la résistance au transfert thermique entre les potentiels T_n et T_a :

$$Q_p = U_L (T_n - T_a) = Q_{p1} + Q_{p2}$$

Si les pertes latérales sont négligeables, Q_{p1} désignera les pertes à l'avant et Q_{p2} , les pertes à l'arrière.

III.10.1. Pertes à l'avant " U_t ":

Afin de déterminer le coefficient de pertes à l'avant " U_t " qui dépend de plusieurs paramètres, parmi eux le nombre et l'épaisseur de la couverture transparente, Klein a proposé la formule suivante qui exprime les pertes à l'avant Q_{p1} en fonction de la température de l'absorbeur, indépendamment de celle de la vitre :

$$Q_{p1} = \frac{T_n - T_a}{N \left/ \left[\left(\frac{C}{T_n} \right) \left(\frac{T_n - T_a}{N+f} \right)^{0,33} \right] + \frac{1}{h_w}} + \frac{\sigma(T_n^4 - T_a^4)}{\frac{1}{\epsilon_{n\beta} + 0,05N(1 - \epsilon_{n\beta})} + \frac{2N+f-1}{\epsilon_{v\beta}} - N} \quad \text{II. 20}$$

Les températures T_n et T_a sont exprimés en kelvin.

Cette équation est valable pour :

$$47^\circ\text{C} < T_n < 147^\circ\text{C} \quad , \quad -13^\circ\text{C} < T_a < 37^\circ\text{C} \quad , \quad 0,1 < \epsilon_{vb} < 0,95$$

$$V_v < 10 \text{ m/s} \quad , \quad 1 < N < 3 \quad \text{et} \quad 0 < \beta < 90^\circ$$

Ou :

N est le nombre de vitrages (2 et 3 dans le cas étudié).

$\epsilon_{n\beta}$ est l'émissivité de l'absorbeur pour une inclinaison β de celui-ci.

$\epsilon_{v\beta}$ est l'émissivité de la vitre pour une inclinaison β de l'insolateur.

f est le facteur correctif tenant compte de l'effet du vent ,il s'exprime par :

$$f = (1 - 0,04 \cdot h_w + 0,00055 h_w^2)(1 + 0,091 \cdot N) \quad \text{II. 21}$$

C est le facteur tenant compte de l'influence de l'inclinaison de l'insolateur sur les coefficients de convection dans les conduits non utiles, il est exprimé par :

$$C = 365,90(1 - 0,00883\beta + 0,00012\beta^2) \quad \text{II. 22}$$

β Étant exprimée en degrés.

Finalement, les pertes U_t sont données par :

$$U_t = \frac{Q_{p1}}{T_n - T_a} \quad \text{II. 23}$$

II.10.2. Pertes à l'arrière " U_b ":

L'expression des pertes de la face arrière de l'insolateur est :

$$U_b = \frac{1}{\frac{e_{is}}{\lambda_{is}} + \frac{e_b}{\lambda_b} + \frac{1}{h_w}} \quad \text{II. 24}$$

Où : h_w est le coefficient d'échange convectif du au vent ,entre la face inférieure de l'insolateur et l'air extérieur.

II.10.3. Calcul du coefficient global des pertes thermiques " U_L ":

Le coefficient des pertes totales de l'insolateur, tenant compte des échanges radiatifs, il s'écrit :

$$U_L = \frac{(U_t + U_b)(h_{vnf}h_{vAlf} + h_{vnf}h_{rnAl} + h_{vAlf}h_{rnAl}) + U_b U_t (h_{vnf} + h_{vAlf})}{h_{vnf}h_{rnAl} + h_{vAlf}U_t + h_{vAlf}h_{rnAl} + h_{vnf}h_{vAlf}}$$

Sachant que : $h_{vAlf} = h_{vnf}$,il vient alors :

$$U_L = \frac{(U_t + U_b)(h_{vnf} + 2h_{rnAl}) + 2U_b U_t}{U_t + 2h_{rnAl} + h_{vnf}} \quad \text{II. 25}$$

- Si le capteur ne contient pas la plaque d'aluminium placée sur l'isolant dans la veine d'air mobile, on ne tient pas compte des échanges radiatifs et on peut écrire :

$$U_L = U_t + U_b \quad \text{II. 26}$$

Conclusion :

Nous avons vu dans ce chapitre une étude théorique et modélisation thermique sur le capteur solaire plan et tous qui dépendent de ses types, ses composantes, les paramètres influant sur le fonctionnement, le bilan thermique et la modélisation des coefficients d'échange thermique. Et nous verrons dans le chapitre suivant les études expérimentales dans ce capteur.



Chapitre III :

Etude expérimentale

Introduction:

Ce chapitre, présente une analyse expérimentale de la réalisation du capteur solaire plan est présente. L'objectif est de choisir la meilleure position de la chicane qui se doit, soit, placée sur la plaque inférieure ou bien sous l'absorbeur.

Pour cet effet, on a fait la comparaison entre les réalisations de trois configurations différentes : la première est un capteur solaire plan sans chicanes, la deuxième configuration est un capteur munie de chicane sur la plaque inférieure et la dernière c'est un capteur qui porte une chicane sous l'absorbeur dans le canal d'écoulement.

III.1.Caractéristiques du site des mesures:

La région d'El-oued se caractérise par un climat aride de type saharien désertique, ce site se situe à une latitude de $33^{\circ}30'$ nord et une longitude de $6^{\circ}07'$ Est, son altitude par rapport au niveau de la mer est 63m, la pression atmosphérique à cette altitude est 1,004Bar.

En hiver la température baisse au-dessous de 0°C alors qu'en été elle atteint 50°C ; le pluviomètre moyenne varie entre 80 et 100mm/an (période d'octobre à février).

Le Sirocco (vent chaud et sec) peut être observé durant toute l'année. Le Sirocco peut provoquer des dégâts très importants (dessèchement, déshydratation). Les vents de sables envahissent régulièrement les cultures.

III.2.Description du dispositif expérimental:

La structure globale du capteur a été fabriquée en bois, avec un dispositif de surface de 601600 mm et de longueur du capteur $L = 940 \text{ mm}$ et $l = 640 \text{ mm}$ de Largeur avec les paramètres du capteur expérimentale sont :

- Un absorbeur plat en acier galvanisé peint en noir mat ; d'épaisseur égale à **2 mm**.
- L'inclinaison des capteurs $i = 33,5^{\circ}$.
- L'écartement, absorbeur –vitre égale **15 mm**.
- L'écartement, plaque inférieure-absorbeur égale à **20 mm**.
- La veine d'air utilise une plaque métallique très mince d'épaisseur **10 mm**
- L'écoulement est en dessous de l'absorbeur.
- Le fluide caloporteur est l'air.
- L'isolation est en polystyrène, d'épaisseur **50 mm**.

- Une vitre de protection, en verre d'épaisseur égale à **4 mm**.
- $\alpha_{\text{abs}} = 0,95$, coefficient d'absorptivité de l'absorbeur.
- $\alpha_v = 0,06$, coefficient d'absorptivité de la vitre.
- $\epsilon_{\text{Al}} = 0,25$, émissivité de la plaque arrière.
- $\epsilon_{\text{mat}} = 0,95$, émissivité de l'absorbeur peint en noir mat.
- $\epsilon_b = 0,93$, émissivité du vitrage.
- $\tau_v = 0,84$, coefficient de transmittivité du vitrage.



Fig. III.1.a: Corps du capteur étudié.



Fig. III.1.b: Schéma des configurations différentes

III.2.1.Instrumentation des captures :

Pour réaliser cette expérience nous avons utilisé des instruments de mesures suivants :

II.2.1.1Mesure de la vitesse de l'air:

La mesure de la vitesse de l'air est effectuée à l'aide d'un anémomètre .il est muni d'un capteur mécanique de type éolienne qui tourne en fonction de la puissance de l'air .la vitesse de rotation de l'hélice est proportionnelle à la vitesse de l'air .Après transformation de cette vitesse de rotation à l'aide d'un procédé mécanique, magnétique ou électronique, la vitesse de l'air est visualisée par l'intermédiaire d'une aiguille sur cadran ou d'un afficheur électronique. Ce dernier est place à l'entre du capteur.



Fig. III.1: Anémomètre

II.2.1.2Mesure de l'éclairement:

La mesure de l'éclairement global est effectuée à l'aide d'un pyranomètre , L'élément sensible (thermopile) du pyranomètre est une série de thermocouples exposés au rayonnement solaire, dont les soudures froides sont maintenues à la température de l'air par conduction et qui délivre une différence de potentiel proportionnelle au flux incident.

Un pare-soleil constitué par une bande circulaire centrée sur la thermopile et parallèle au plan équatorial, occulte le pyranomètre du rayonnement solaire direct pour permettre la mesure du rayonnement solaire diffus.



Fig III.2. Pyranomètre.

II.2.1.3 Mesure de la température:

La mesure des températures est effectuée à l'aide des thermocouples. Ils sont bon marché et permettent la mesure dans une grande gamme de températures. Leur principal défaut est leur précision : il est relativement difficile d'obtenir des mesures avec une erreur inférieure à 0,1-0,2 °C. La mesure de température par des thermocouples est basée sur l'effet Seebeck.

Afin de mener à bien l'expérimentation, cinq thermocouples ont été placés sur le système, répartis comme suit :

- 01 thermocouple au niveau du canal d'écoulement d'air.
- 02 thermocouples au niveau de la plaque absorbant.
- 01 thermocouple au niveau de la chicane.
- 01 thermocouple à la sortie du capteur.



FigIII.3. Thermocouple

III.3.Résultats expérimentaux :

Les résultats sont présents sous forme des tableaux (III.1) pour chaque journée avec l'explication des paramètres prises en compte.

III.3.1.Variation du rayonnement solaire et température ambiante en fonction du temps :

Heures	Rayonnement solaire (w/m ²) 23Fevrier 2016	Température Ambiante (°c) 23Fevrier2016	Rayonnement solaire (w/m ²) 05 Avril 2016	Température Ambiante (°c) 05Avril2016	Rayonnement solaire (w/m ²) 27 Avril 2016	Température Ambiante (°c) 27Avril2016
08H00	148	18,10	221	21,30	209	21,20
09H00	320	18.90	389	22,70	367	21,90
10H00	556	20,00	719	24,20	542	23,00
11H00	656	21,70	815	26,00	701	24,10
12H00	693	23,00	864	28,00	814	25,00
13H00	655	24,10	816	28,90	852	26,00
14H00	558	24,45	715	29,80	788	26,80
15H00	386	23,25	590	29,10	686	27,70
16H00	273	22,35	438	28,50	505	26,90
17H00	76	21,45	216	29,10	270	26,20

Tab III.1. Mesures Rayonnement solaire expérimentaux et température ambiante.

Fig III.4. Variation du rayonnement solaire en fonction du temps (23 Février 2016)

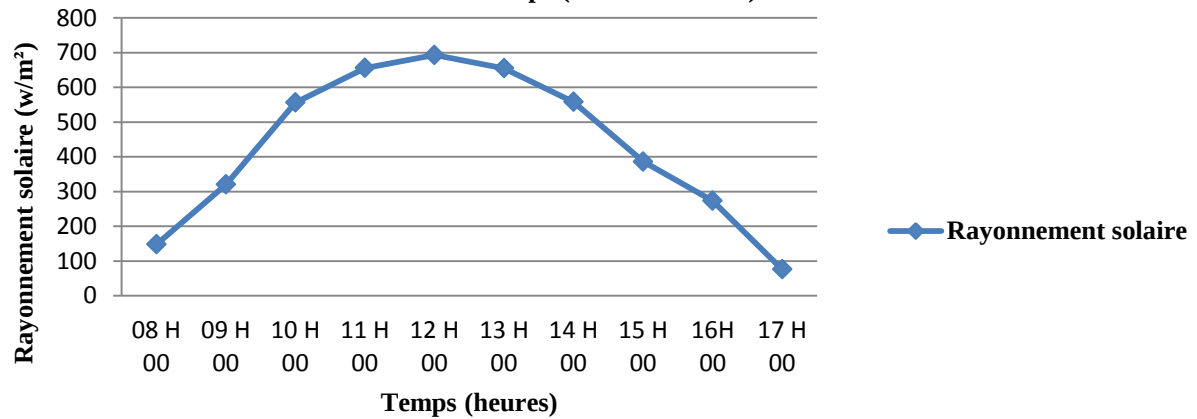
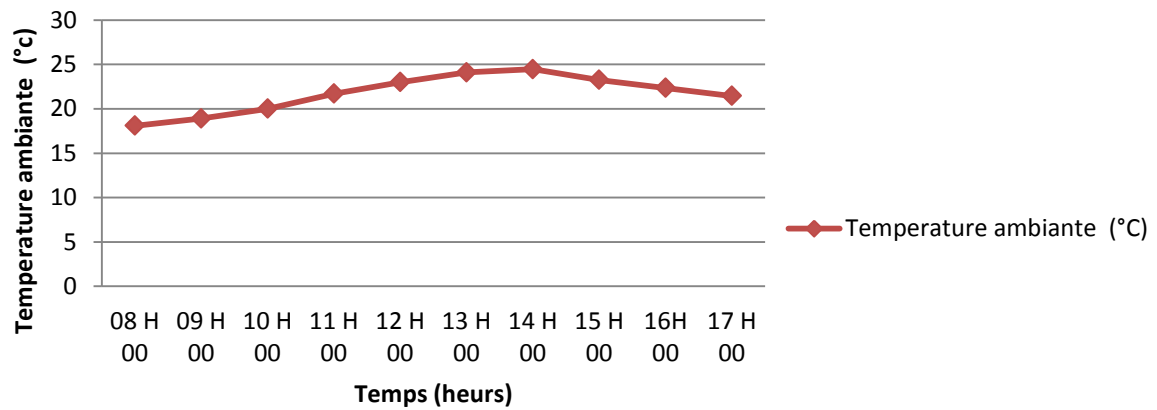


Fig III.4.A. Variation de la température ambiante en fonction du temps (23 février 2016)



FigIII.5. Variation du rayonnement solaire en fonction du temps (05 Avril 2016)

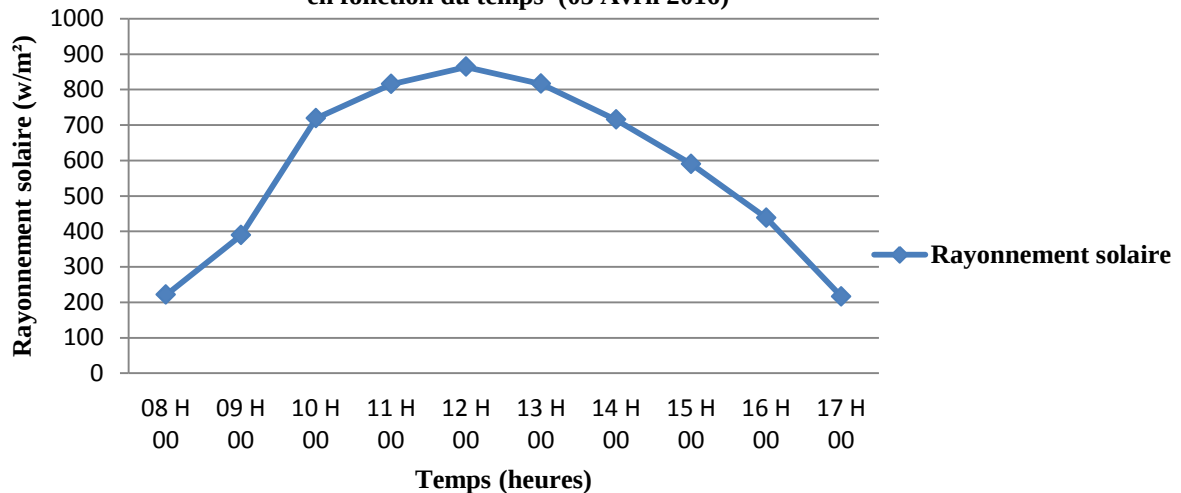
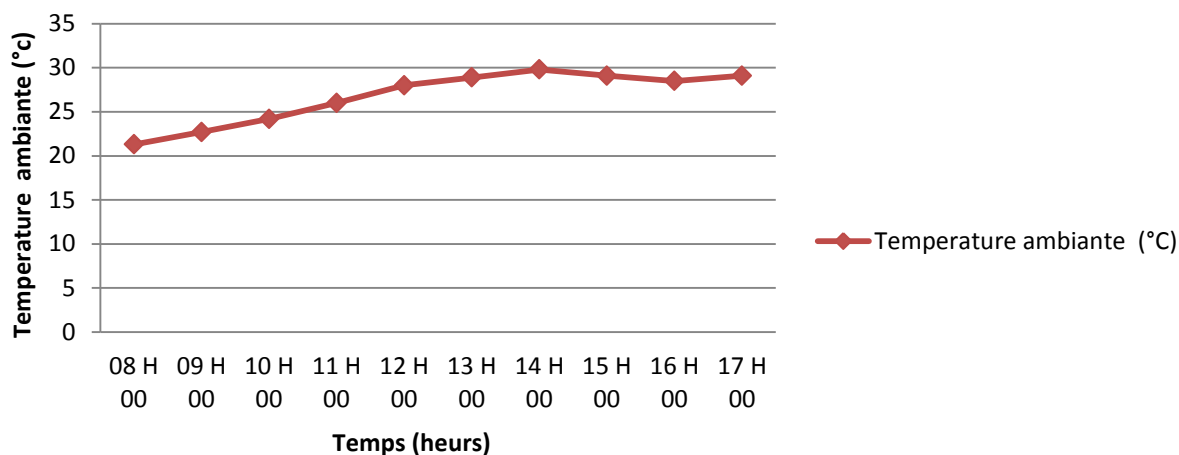


Fig III.5.A.Variation de la temperature ambiante en fonction du temps(05avril 2016)



FigIII.6.Variation du rayonnement solaire en fonction du temps (27Avril 2016)

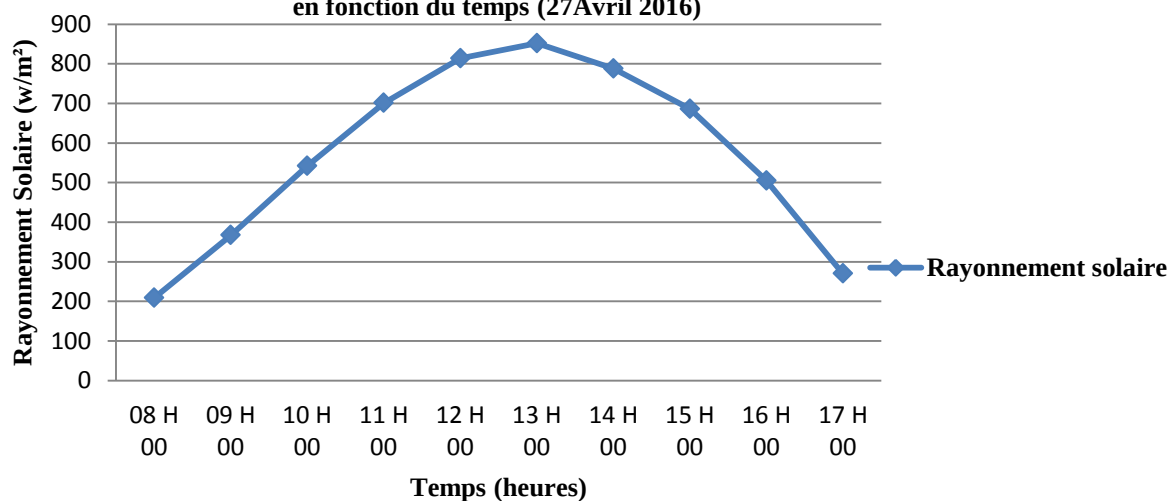
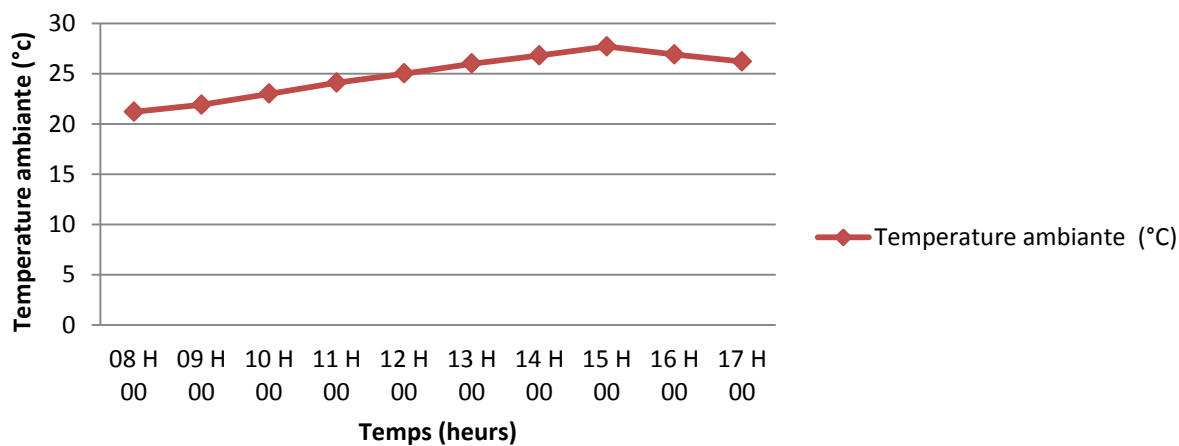


Fig .6.A. Variation de la temperature ambiante en fonction du temps (27 avril 2016)



Les figures (III-4), (III-5) et (III-6) montrent que l'évolution du rayonnement solaire globale en fonction du temps pour la journée considérée présente une forme de cloche ce qui conforme les théories de la plupart des modèles semi empiriques.

La plus grande valeur du rayonnement du 05 avril 2016 est atteinte à 12h00 et sa valeur est égale à 864 w/m^2 par contre le rayonnement, au cours de la journée du 23 février 2016 n'a pas dépassé 693 w/m^2 .

Nous remarquons sur les figures (III -4A, III -5A et III -6A) la plus grande valeur de la température ambiante du 05 avril 2016 est atteinte à 14h00 et sa valeur est égale à $29,80^\circ\text{C}$

Par contre la température, au cours de la journée du 23 février 2016 n'a pas dépassé $24,45^\circ\text{C}$

Nous constatons que les courbes expérimentaux présentent une irrégularité dans sa progression journalière, ceci est dû aux passages nuageux qui ont interrompu le déroulement de l'expérience.

III.3.2.Variation de la température de sortie de l'air en fonction des débits :

	Capteur sans chicane	Capteur chicane sous absorbeur	Capteur chicane sur la plaque inférieure
Ts air ($^\circ\text{C}$)	52	57	66

Tab .III.2. Mesures de la température de sortie de l'air et configuration du capteur.

(23 février 2016, $t=12\text{h}00$, $Q_m=52 \text{ kg/h}$, $\Phi_g=693 \text{ w/m}^2$ et $T_a=23^\circ\text{C}$)

	Capteur sans chicane	Capteur chicane sous absorbeur	Capteur chicane sur la plaque inférieure
Ts air ($^\circ\text{C}$)	56	63	69

Tab .III.3. Mesures de la température de sortie de l'air et configuration du capteur.

(05 avril 2016, $t=12\text{h}00$, $Q_m=78 \text{ kg/h}$, $\Phi_g=864 \text{ w/m}^2$ et $T_a=28^\circ\text{C}$)

	Capteur sans chicane	Capteur chicane sous absorbeur	Capteur chicane sur la plaque inférieure
Ts air ($^\circ\text{C}$)	49	54	55

Tab .III.4. Mesures de la température de sortie de l'air et configuration du capteur.

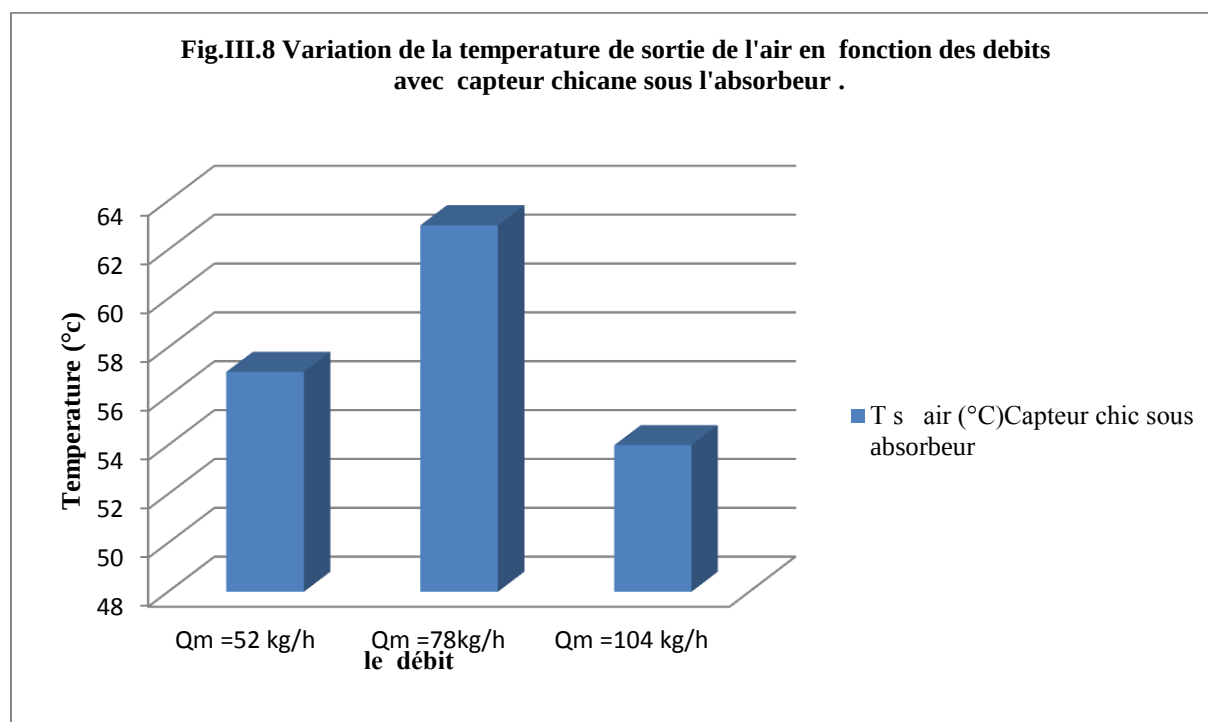
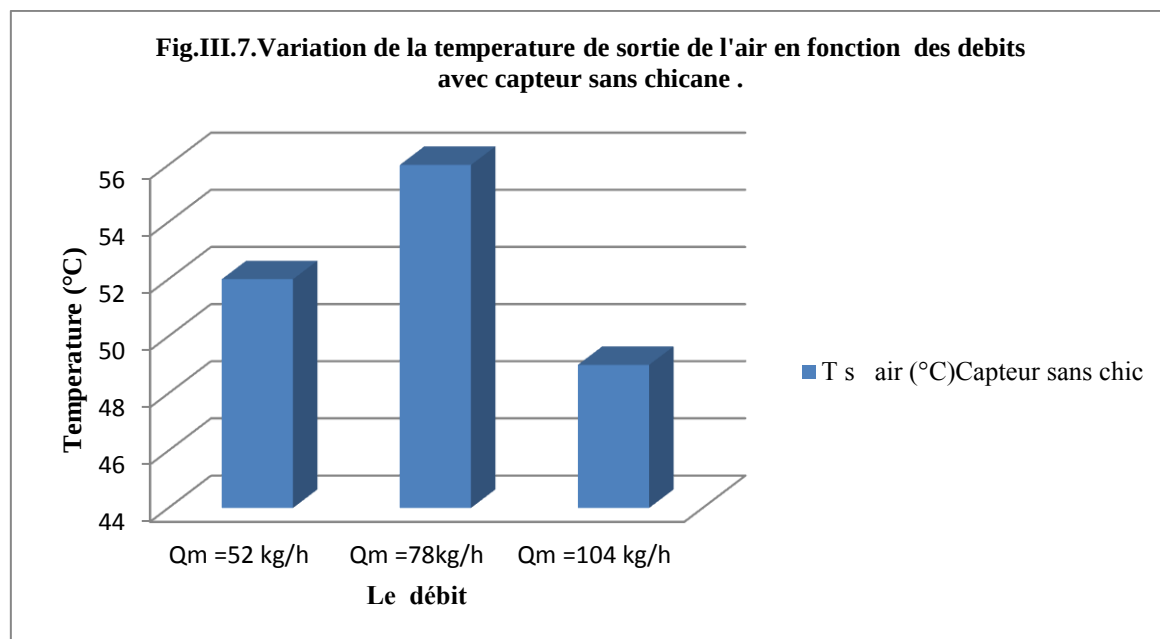
(27 avril 2016 t=12h00, $Q_m = 104 \text{ kg/h}$, $\Phi_g = 814 \text{ w/m}^2$ et $T_a = 25^\circ\text{C}$)

Fig.III.9 Variation de la température de sortie de l'air en fonction des débits avec capteur chicane sur la plaque inférieure

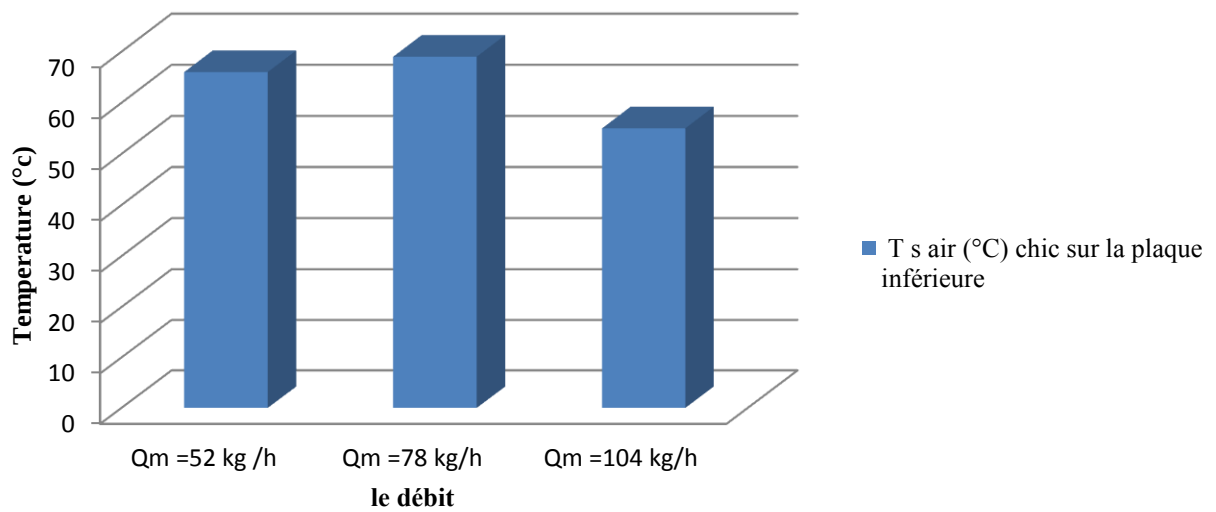
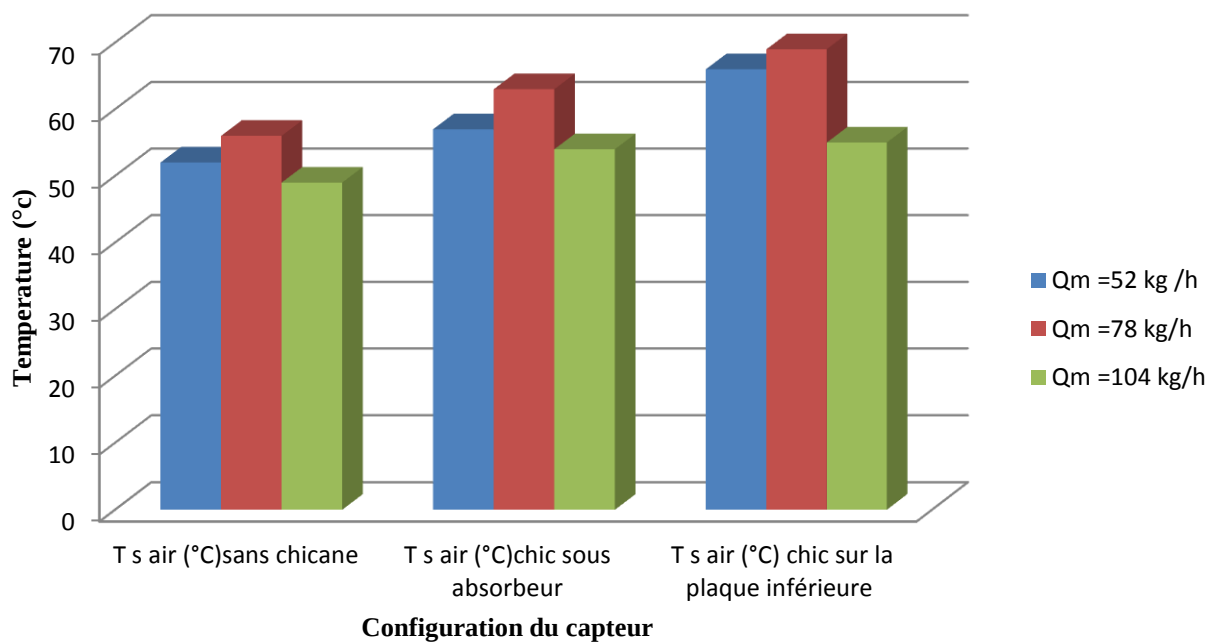


Fig .III.10 Variation de la température de sortie de l'air en fonction des débits par configuration du capteur



Les figures (III-7, III-8, III-9 et III-10) présentent la variation de la température de sortie de l'air en fonction des débits et configuration du capteur,

La température de sortie de l'air du capteur solaire muni de chicanes est plus élevée que celle dans le capteur solaire sans chicanes, parce que la configuration avec chicanes augmente la surface d'échange.

Nous avons constaté que le débit compris entre 52 et 78 kg/h, la température de sortie de l'air du capteur solaire en augmentation progressive par contre une diminution au débit 104kg/h.

III.3.3.Variation de la température de l'absorbeur en fonction des débits :

	Capteur sans chicane	Capteur chicane sous absorbeur	Capteur chicane sur la plaque inférieure
Te abs (° C)	56	57	71
Ts abs (° C)	58	62	73

Tab .III.5. Mesures de la température de l'absorbeur et configuration du capteur.

(23fevrier 2016, t=12h00, $Q_m = 52 \text{ kg /h}$, $\Phi_g = 693 \text{ w/m}^2$ et $T_a = 23^\circ\text{C}$)

	Capteur sans chicane	Capteur chicane sous absorbeur	Capteur chicane sur la plaque inférieure
Te abs (° C)	62	72	74
Ts abs (° C)	61	71	70

Tab .III.6. Mesures de la température de l'absorbeur et configuration du capteur.

(05 avril 2016, t=12h00, $Q_m = 78 \text{ kg/h}$, $\Phi_g = 864 \text{ w/m}^2$ et $T_a = 28^\circ\text{C}$)

	Capteur sans chicane	Capteur chicane sous absorbeur	Capteur chicane sur la plaque inférieure
Te abs (° C)	60	57	53
Ts abs (° C)	55	62	61

Tab .III.7. Mesures de la température de l'absorbeur et configuration du capteur.

(27 avril 2016 t=12h00, $Q_m = 104 \text{ kg/h}$, $\Phi_g = 814 \text{ w/m}^2$ et $T_a = 25^\circ\text{C}$)

Fig.III.11 Variation de la température d'entre de l'absorbeur en fonction des débits par configuration du capteur

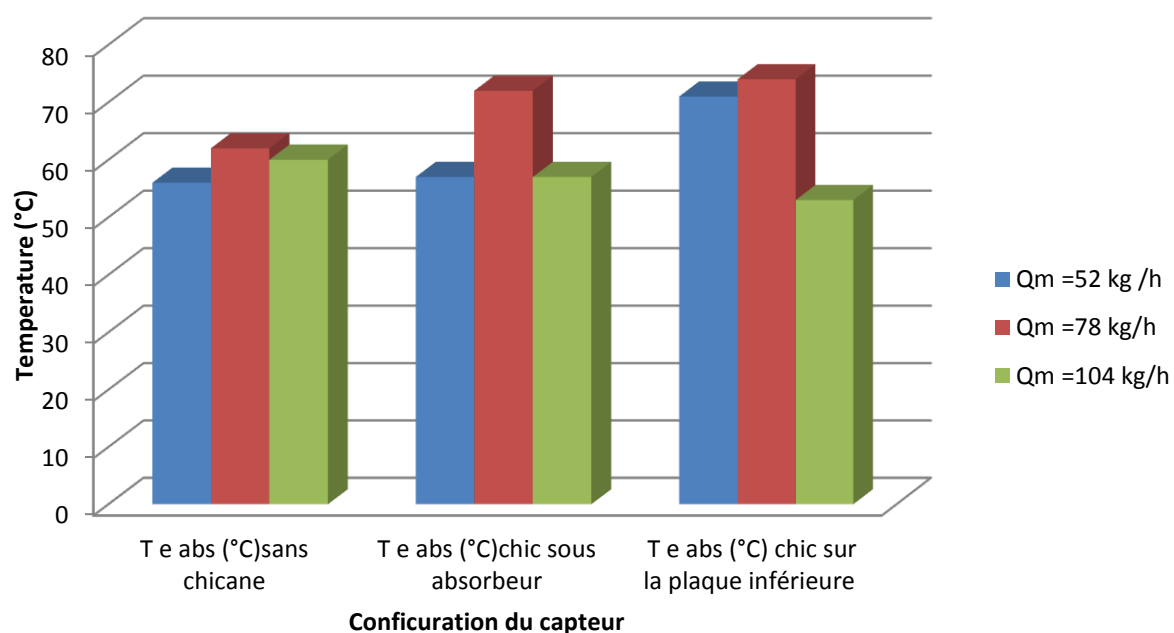
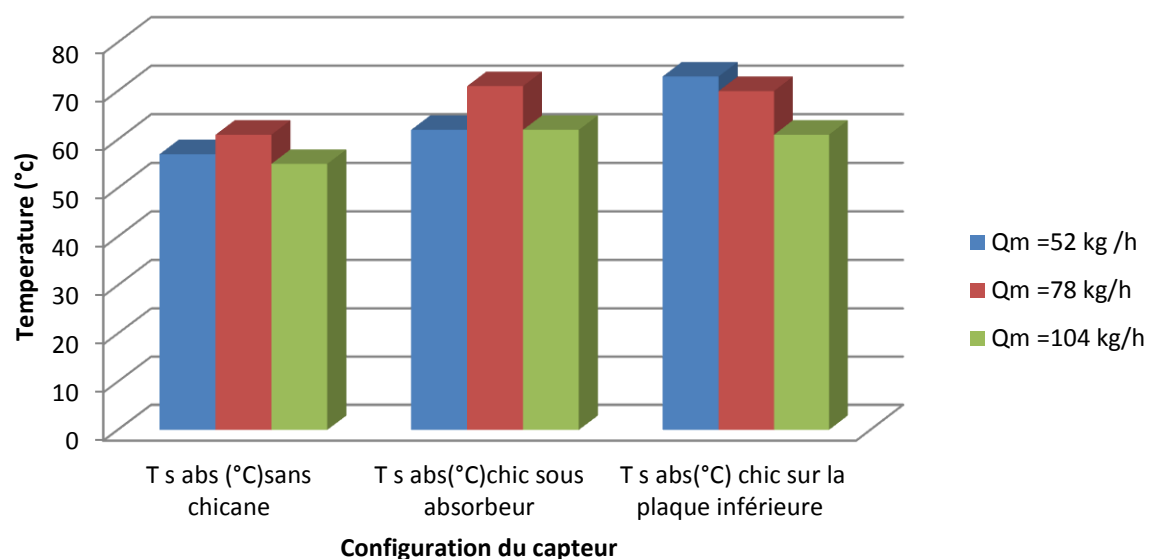


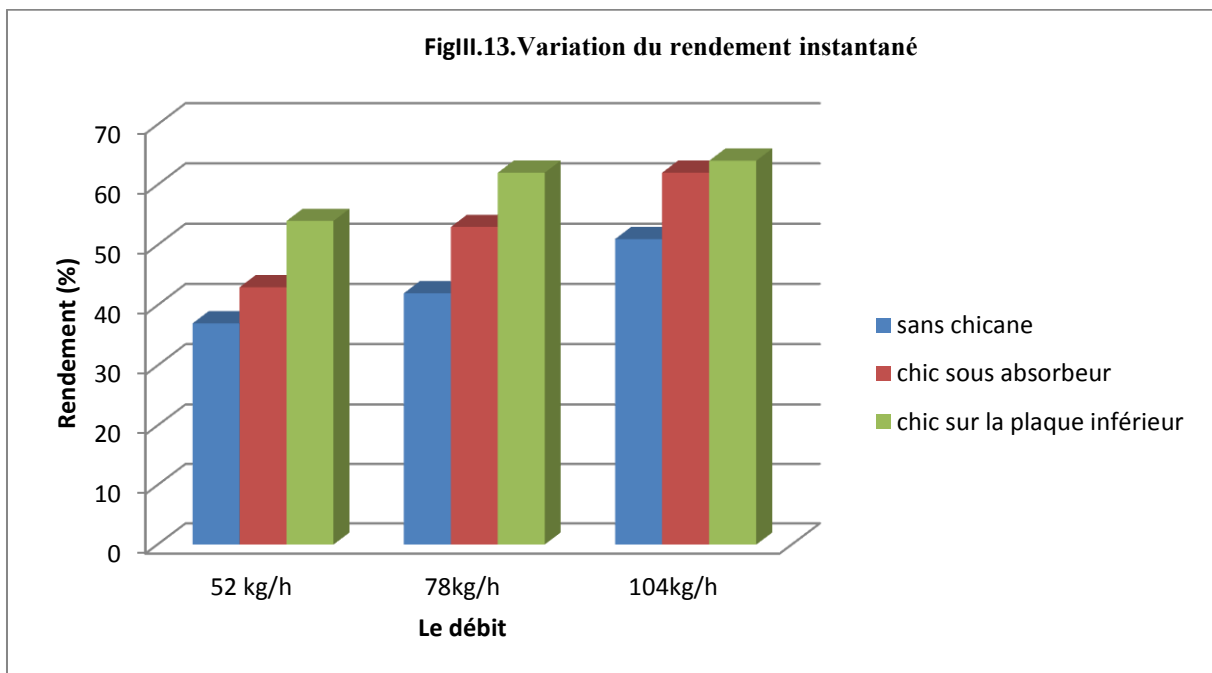
Fig III.12. Variation de la température de sortie de l'absorbeur en fonction des débits par configuration du capteur



Les figures (III-11et III-12) présentent la variation de la température de l'absorbeur en fonction des débits par configuration du capteur, on a constaté la température d'entre de l'absorbeur augmente entre les débits 52 et 78 (kg/h), par contre elle diminue au débit 104 (kg/h).

Par conséquent la température de sortie de l'absorbeur augmente au débit 52 (kg /h) .alors qu'elle diminue entre les débits 78 et 104 (kg/h).

III.3.3.Variation du rendement instantané:



La figure (III-13) présente une amélioration du rendement pour les trois débits, ainsi ce rendement atteint son maximum 64% au débit 104 kg/h et la configuration de capteur solaire Chicane place sur la plaque inferieur.

Par ailleurs le rendement de capteur augment avec le débit comme illustre sur la figure précédent, une augmentation de ces derniers résultent une augmentation de la vitesse d'air.

Conclusion :

Après toute cette, en comparant différentes configuration et différents débits du capteur solaire plan a air, orienté à plein sud et incliné de 33.5° , le choix optimal est comme suit :

La configuration de capteur solaire Chicane place sur la plaque inferieur.



Conclusion

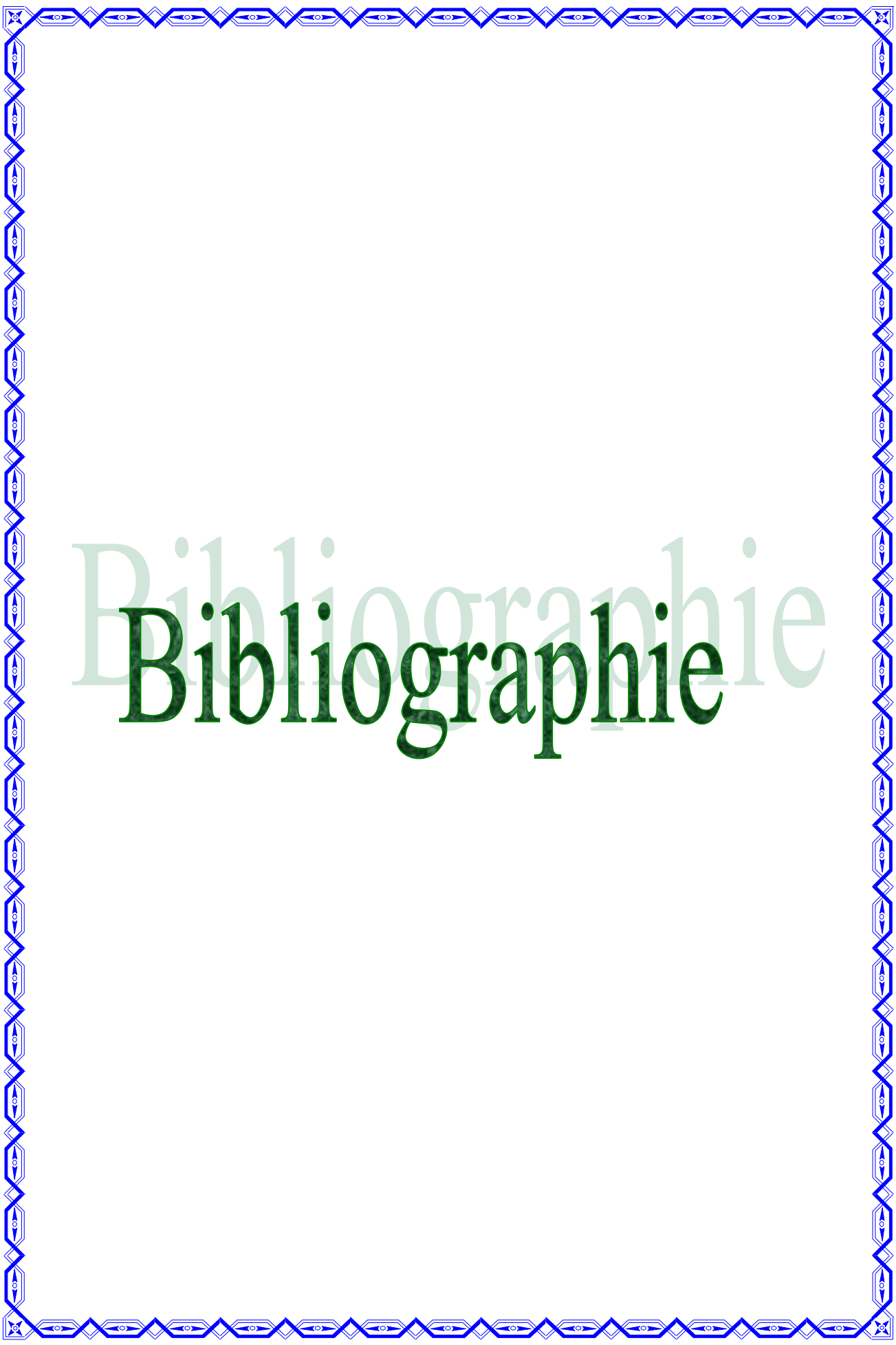
Conclusion Générale

L'objectif de ce travail est l'étude théorique et réalisation d'un capteur solaire plan.

Notre étude expérimentale nous à permis de tester les trois configurations différentes, la première est un capteur solaire plan à air sans chicane, la deuxième configuration est un capteur muni de chicane placée sur la plaque inférieure et la troisième, c'est un capteur muni de chicane placée sous l'absorbeur dans le canal d'écoulement pour différents intervalles de débit. Calculé les performances du capteur ce dernière.

Nous avons trouve que pour une meilleure efficacité du capteur, nous devons choisir une configuration est celle qui donne la valeur du rendement le plus élève, Cette configuration est celle relative à un capteur muni de chicane placée sur la plaque inférieure.

En perspectives, nous proposons de suivre l'étude, toujours dans le but d'arriver au capteur dont le rendement est optimal, mais cette fois-ci en jouant sur l'orientation et l'inclinaison du capteur.



Bibliographie

Bibliographie

- [01] **N. Nijegorodov, P. K. Jain and K. R. S. Devan.** “A graphical method of measuring the Performance characteristics of solar collectors”. *Renewable Energy*, 7 (1996), pp. 23- 31.
- [02] **A. Benkhelifa.** “ Optimisation d’un Capteur Solaire Plan “. *Rev. Energ. Ren. : Physique Energétique*, (1998), pp. 13-18.
- [03] **A. Ahmed-Zaïd, A. Moulla, M. S. Hantala et J.Y. Desmons** « Amélioration des Performances des Capteurs Solaires Plans à Air: Application au Séchage de l'Oignon Jaune et du Hareng » *Rev. Energ. Ren. Vol.4* (2001) 69-78.
- [04] **N.Moummi ,S.Youcef-Ali ,A.Moummi ,J.Y.Desmons** ,Energy analysis of a solar air collector with rows of fins ,*Renewable Energy* ,Vol.29,(2053-2064),2004.
- [05] **S. Youcef-Ali.** “Study and optimization of the thermal performances of the offset rectangular plate fin absorber plates, with various glazing”. *Renewable Energy*, 30 (2005), pp. 271–280.
- [06] **F. Benyelles, B. Benabadjia, B.Benyoucef, Z.Ziani,** « Comparaison entre un capteur à aérogel de silice et d’autres capteurs plans », 13emes Journées Internationales de Thermique (2007).
- [07] **K. Aoues, N. Moummi, M. Zellouf, A. Labed, E. Achouri,** « Etude de l’influence des rugosités artificielles sur les performances thermiques des capteurs solaires plans à air », *Revue des Energies Renouvelables*, vol 11, N°2, p 219 227,(2008).
- [08] **Yves .Jannot,** *Thermique solaire*, 2011.
- [09] **W.H. Mcadams** , *Transmission de chaleur* 2^{ème} edition,Dunod,Paris 1961
- [10] **T.Letz,X.Cholin** ,*Intégrer le solaire thermique dans le bâtiment ,Formation ,présentation des technologies solaires* ,INES éducation ,2007.
- [11] **C.Zidani** , *Conception et modélisation des systèmes photo thermiques : Applications aux systèmes photo thermiques alimentés par fibres optiques*, thèse de doctorat , Université de Tlemcen ,2012.

Bibliographie

- [12] **S.Youcef-Ali**, Etude numérique et expérimentale des séchoirs solaires indirects à convection forcée : Application à la pomme de terre, thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 2001.
- [13] **A. Bouras**, Etude et conception d'un convertisseur solaire pour la production d'eau chaude sanitaire, thèse de magister, Université de Mentouri, Constantine ,2007.
- [14] **A.Abdessmed**, Etude et modélisation d'un convertisseur héliothermique, thèse de magister, Université de Batna ,2010.
- [15] **D.Ababsa** , Optimisation du rendement d'un capteur solaire par minimisation des pertes convectives ,thèse de magister ,Université de Batna ,2010.
- [16]**D.Njomo**, Etude théorique du comportement thermique d'un capteur solaire plan à air à couverture combinée plastique-vitre, Rev .Gén.Therm(Elsevier).Vol.37,(973-980),1998.
- [17]**F.Mokhtari** et **D.Semmar**, l'Influence de la Configuration de l'Absorbeur sur les Performances Thermiques d'un Capteur Solaire à Air, Revue des Energies Renouvelables, (159-162) ,2001.
- [18]**T.Koyuncu**, Performance of various design of solar air heaters for crop drying applications, Renewable Energy, Vol.31,(1073-1088),2006.
- [19] **M.Daguenet**, Les Séchoirs Solaires : Théorie et pratique, Unesco 1985.
- [20] **M.Rédha yaiche**, **A. Bouhanik** -Atlas solaire Algérien, 2002.
- [21] **C.Zidani** , Conception et modélisation des systèmes photo thermiques : Applications aux systèmes photo thermiques alimentés par fibres optiques, thèse de doctorat , Université de Tlemcen ,2012.
- [22]**S.Mouhous –chaouchi** , Etude statistique du rayonnement solaire sur un plan incliné , thèse de magister , Université de Tlemcen ,2012.
- [23]**F. Kalla** , Conversion thermodynamique de l'énergie solaire :Etude et modélisation d'un capteur solaire, thèse de magister , Université de Batna, 2014.
- [24]**M.Sandali** , Etude dynamique et thermique d'un capteur solaire à air à double passe avec milieu poreux , thèse de magister ,Université de Tlemcen, 2014.

Bibliographie

[25] **M.Amraoui** , Etude numérique d'un capteur solaire plan à air influence de la forme de la rugosité , thèse de magister , Université de Tlemcen, 2012.

[26] <http://www.cder.dz/bulletin>. visité le 23/02/2016

[27] <http://www.ines.solaire.com> visité le 16/04/2016

Résumé :

Le travail présenté concerne une étude théorique et réalisation d'un capteur solaire plan à simple canal entre l'absorbeur et la plaque inférieure, fonctionnant en convection forcée.

Ce capteur solaire a subi plusieurs expériences avec différents essais touchant ses configurations géométriques du canal d'écoulement d'air.

A L'issue d'étude du capteur a été menée et les courbes expliquant le phénomène qui nous ont conduits à l'optimiser.

Nous avons trouvé que pour une meilleure efficacité du capteur, nous devons choisir une configuration celle qui donne la valeur du rendement le plus élevée, Cette configuration est celle relative à un capteur muni de chicane placée sur la plaque inférieure.

.....

Abstract:

The present work is a theoretical study and realization of a simple channel between the absorber and the lower plate plan solar sensor, operating in forced convection.

This solar collector has suffered several experiments with different tests on its geometric configurations of the air flow channel.

At the end of the study of the sensor was carried out and the curves explaining the phenomenon that led us to optimize it.

We think for a better efficiency of the sensor, we choose a configuration that gives the value of the performance the most amounts; this configuration is related to a sensor with chicane placed on the bottom plate.

Mot Clés : capteur solaire, chicane, absorbeur, convection forcée, rayonnement solaire.