

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : Génie mécanique

Spécialité : Génie énergétique et environnement

Par :

MAHAMAT BICHARA ISSAK

Sujet

Performance d'un capteur solaire plan à air par une étude comparative de la veine d'air.

(expérimentale)

- 1. Entre le vitrage et l'absorbeur**
- 2. Entre l'absorbeur et l'isolation**

Soutenu publiquement, le 25 / 05 / 2016, devant le jury composé de :

Mr GHERNAOUT MEA.	MCA	Univ. Tlemcen	Président
Mr AZZI A.	MCA	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire
Mr MOUNGAR H.	Chercheur	URERMS Adrar	Co-Directeur de mémoire
Mr BENRAMDANE M.	MA.A	Univ. Tlemcen	Examineur 1
Mr SAIM R.	Professeur	Univ. Tlemcen	Examineur 2

*Je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage, la force et la patience de mener à terme ce présent travail. J'exprime mes gratitudes, mes reconnaissances et sincères remerciements à mon encadreur **Mr. Azzi Ahmed**, enseignant au département de génie mécanique à l'université Aboubekr Belkaid de Tlemcen et à mon Co-encadreur **Mr. MOUNGAR HOCINE** chercheur à l'**URER.MS** de wilaya d'Adrar pour m'avoir guidé et assister durant tout longue de ce travail avec volonté et courage actif, j'en suis très reconnaissant pour son aide immense.*

*Je tiens ainsi à remercier **Dr HAMOUDA MESSAOUD** le Directeur de l'unité de recherche des énergies renouvelable au milieu saharien d'Adrar (**URER.MS**), pour m'avoir permis de faire mon stage dans leur laboratoire de division de conversion thermique et thermodynamique.*

*Je remercie vivement le président de jury **Mr GHERNAOUT MEA** ainsi que les examinateurs **Mr BENRAMDAN** et **Mr SAIM R.** d'avoir accepté d'examiner le présent travail.*

*Mes remerciements vont également à tous les administrateurs du département de génie mécanique. Et sans oublier doctorants de **LETAP**.*

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à tous les enseignants qui m'ont formé toute au long de mon cursus universitaire à Tlemcen.

Et en fin je remercie avec une grande résonance ce pays pour son accueil pour le savoir qu'il m'a donné durant mon se jour.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents

À mon frère Yacine

À toute ma famille

À mes encadreur

À mes promotionnel(le)s de GTER

À mes compatriotes habitent en Algérie
particulièrement ceux du Tlemcen.

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE.I La recherche bibliographique

I.1 Introduction.....	3
I.2 Travaux de recherche sur les capteurs solaires.....	3
Conclusion.....	10

Chapitre. II gisement solaire

II.1 Introduction	11
II.2 Soleil et ses caractéristiques	11
II.3 Structure du soleil.....	12
II.3.1 Intérieur.....	12
II.3.2 Photosphère.....	13
II.3.3 Chromosphère	13
II.3.4 Couronne solaire	13
II.3.5 Cœur (noyau)	14
II.3.6 Héliosphère [17].....	14
II.4 Atmosphère terrestre	14
II.5.1 La composition de l'atmosphère	15
II.5.2 Atténuation du rayonnement solaire (rôle de l'atmosphère).....	15
II.5.3 Absorption par l'atmosphère.....	15
II.5 Mouvement de la terre autour du soleil.....	16
II.6 Caractéristiques physiques de la terre	17
II.7 Paramètres de position	17
II.7.1 Les coordonnées géographiques terrestres (φ, L)	17
II.7.2 Orientation d'un plan [17].....	19
II.7.3 Angle d'incidence sur un plan	19
II.8 Les temps solaires	20
II.8.1 TSV : temps solaire vrai	20
II.8.2 Temps universel (TU)	20
II.8.3 Temps légal TL.....	20

II.8.4	Temps solaire moyen TSM	21
II.8.5	Durée de jour [23]	21
II.8.6	Equation du Temps (ET)	21
II.9	Rayonnement solaire	22
II.10	Albédo	25
II.11	Taux d'ensoleillement	27
II.12	Gisement solaire en Algérie	27
	Conclusion	30

Chapitre. III : Étude théorique et thermique de capteur solaire

III.1	Introduction	31
III.2	Définition et principe d'un capteur solaire plan	31
III.3	Différents types des capteurs solaires plans thermiques	31
III.3.1	Capteur solaire plan à air	32
III.3.2	Capteur plan à eau	33
III.3.3	Capteurs plans à liquide sans vitrage	34
III.3.4	Capteurs plans à liquide avec vitrage	35
III.3.5	Capteurs solaires à tubes sous vide	35
III.3.6	Les capteurs plans non vitrés à revêtement sélectif	36
III.4	paramètres influant sur le fonctionnement d'un capteur solaire	37
III.4.1	Couverture (vitre)	37
III.4.2	Absorbeur	38
III.4.3	Isolation thermique	39
III.4.4	Orientation et l'inclinaison du capteur	41
III.5	Les fluides caloporteurs	41
III.6	Modélisation mathématique de bilan thermique	42
III.6.1	Bilan thermique global de la paroi absorbante [31]	42
III.7	Pertes thermiques d'un capteur solaire	44
III.7.1	Pertes vers l'avant du capteur	45
III.7.2	Pertes l'arrière du capteur	45
III.7.3	Les coefficients des pertes thermiques du capteur solaire	45
III.7.1.1	Coefficient de pertes vers l'avant :	45
III.7.1.2	Coefficient de pertes thermique vers l'arrière	47

III.7.1.3	Coefficient de pertes latérales	47
III.8	Le rendement thermique du capteur.....	47
	Conclusion.....	48

Chapitre. IV : Étude expérimentale

IV.1	Introduction	49
IV.2	Réalisation du capteur solaire plan à air double-passe	49
IV.2.1	Constitution du dispositif	50
IV.2.2	Description du fonctionnement	50
IV.2.3	Paramètres et caractéristiques du capteur solaire	50
IV.2.4	Les équipements pour la réalisation	51
IV.2.5	Montage du capteur solaire	52
IV.2.5.1	Préparation de la caisse.....	53
IV.2.5.2	Préparation de la plaque absorbante	53
IV.2.5.3	placement de la couverture	55
IV.2.6	La fixation des capteurs solaires dans le support	56
IV.2.6.1	Préparation de support de fixation.....	57
IV.2.7	Les instruments de mesures.....	58
IV.2.7.1	Les thermocouples	58
IV.2.7.2	Le pyranomètre.....	58
IV.2.7.3	L'acquisition de donnée.....	59
	Conclusion.....	60
IV.3	Analyse des résultats et discussions	60
IV.3.1	capteurs solaire plan double passe (sans recirculation d'air)	63
IV.3.2	Capteur solaire plan double passe avec recirculation d'air	71
	Conclusion.....	74

Chapitre.V : Simulation numérique

V.1	Introduction.....	76
V.2	Description de l’outil de simulation.....	76
V.3	Étapes à suivre pour la modélisation numérique par FLUENT :.....	76
V.4	Caractéristiques thermiques et physiques des matériaux.....	81
V.5	Analyse des résultats et discussion	81
V.5.1	Étude dynamique	82
V.5.1.1	Présentation du contour de la vitesse axiale (sans recirculation).....	82
V.5.1.2	Profil de la vitesse dans les passes du capteur avec recirculation.....	83
V.5.1.3	Présentation du contour de la vitesse avec recirculation d’air	84
V.5.1.4	Profil de la vitesse du capteur solaire avec recirculation	84
V.5.1.5	Profil de la vitesse à la sortie suivant y (avec recirculation).....	85
V.5.2	Étude thermique	86
V.5.2.1	Contour de la température pour le capteur (<i>Sans recirculation</i>).....	86
V.5.2.2	Profil de la température dans les deux passes (sans recirculation)	86
V.5.2.3	Contour de la température du capteur (avec recirculation d’air)	87
V.5.2.4	Profil de la température du capteur (avec recirculation).....	88
V.5.2.5	Courbe de la température au contour du capteur solaire plan avec recirculation d’air	89
	Conclusion.....	89
	Conclusion générale.....	90

Nomenclature

Lettres latins et abréviations

Symbole	Désignation	Unité
A	Surface du capteur solaire	m ²
h	hauteur	m
d	Durée du jour	heur
I_0	Constant solaire	w/m ²
Gn	Rayonnement solaire	w/m ²
G	Rayonnement global	w/m ²
S	Rayonnement direct	w/m ²
D	Rayonnement diffuse	w/m ²
a	Azimut du plan	degré
TU	Temps universel	second
TSV	Temps solaire vrai	second
TSM	Temps solaire moyen	second
TL	Temps local	second
l	longitude	degré
ep	épaisseur	m
L	longueur	m
ET	Equation du temps	/
CSP	Capteur solaire plan	/
T	Température	K
Ut	coefficient de pertes vers l'avant	w/m ² k
Ub	coefficient de pertes vers le bas	w/m ² k
U_{lat}	coefficient de pertes latérales	w/m ² k
h_r	coefficient d'échange par rayonnement	w/m ² k
h_{cv}	Coefficient d'échange thermique par convection	w/m ² k
SS0	Durée effectif du l'ensoleillement	
SS	Durée maximale	

Nomenclature

Lettres grecs

Symbole	Désignation	Unité
σ	Taux d'ensoleillement	/
λ	Conductivité thermique des matériaux	w/mk
ε	Emissivité	/
φ_{sa}	Flux solaire absorbé	W
φ_p	Flux perdu par la paroi absorbante	W
i	Angle d'inclinaison	
φ_u	Flux utile transmis au fluide caloporteur	W
φ_{st}	Flux stocké dans le capteur qui s'écrit	W
α	Coefficient d'absorption	/
τ	Coefficient de transmission	/

ملخص

يعرض هذا العمل نتائج الدراسات التجريبية مع مزدوجة الشمسية طائرة جامع الهواء يمر مع وبدون إعادة تدوير الهواء، بمساحة جمع 1.65 m²، وزاوية الميل من 56.09 درجة. الجهاز تنتج في ورشات العمل الميكانيكي للبيئة للطاقة المتجددة وحدة الأبحاث الصحراء (URER.MS) من ولاية أدرار. تم إجراء التجارب خلال الموسم الشتوي لمدة أسبوع على اثنتين من تجميع الطاقة الشمسية (مسار واحد وتمريرة مزدوجة مع وبدون دوران الهواء). البيانات المسجلة هي قيم درجات حرارة مختلفة في أجهزة الاستشعار. بعد مقارنة ثلاث درجات الحرارة مخرجات (درجة حرارة الهواء بين الزجاج وامتصاص للمرور واحد وتمريرة مزدوجة، ودرجة حرارة الهواء بين امتصاص وعزل)، وجدنا أن درجة الحرارة الهواء بين امتصاص وعزل. خسائر الأداء الجيد لذلك الجهاز لدينا يعتبر أسفل هي الأمثل أيضا. كلمات المفتاح البحث: الأداء الحراري، وضعف يمر تجميع الطاقة الشمسية، الحمل الحراري الطبيعي.

Résumé

Ce travail présente les résultats des études expérimentales d'un capteur solaire plan à air double passe avec et sans recirculation d'air, avec une surface de captation de 1.65 m^2 et un angle d'inclinaison de 56.09° . Le dispositif réalisé aux ateliers de travaux mécaniques de l'Unité de Recherche des Énergies Renouvelables en milieu saharien (URER.MS) de la wilaya d'Adrar. Les expériences ont été faites durant la saison d'hiver pour une semaine sur deux capteur solaire (simple passe et double passe sans et avec recirculation d'air). Les données enregistrées sont les valeurs de différentes températures au niveau des capteurs. Après avoir comparés les trois températures sorties (température de l'air entre la vitre et l'absorbeur pour le simple passe et double passe ; température de l'air entre l'absorbeur et l'isolation), nous avons constaté que la température de l'air entre l'absorbeur et l'isolant. Donc notre dispositif est jugé bien performant les pertes vers le bas sont bien optimisées.

Mots clés : performance thermique, capteur solaire double passes, convection naturelle.

Abstract

This work presents the results of experimental studies with a double solar air collector plane passes with and without air recirculation, with a collecting area of 1.65 m² and an inclination angle of 56.09 degrees. The device produced in the workshops of mechanical work of the Renewable Energy Research Unit Saharan environment (URER.MS) of the wilaya of Adrar. The experiments were made during the winter season for a week on two solar collector (single pass and double pass with and without air circulation). The recorded data are the values of different temperatures at the sensors. After comparing three outputs temperature (temperature of the air between the glass and the absorber for the single pass and double pass; the air temperature between the absorber and insulation), we found that the temperature the air between the absorber and the insulation. So our device is considered good performance losses down are well optimized.

Keywords: thermal performance, double solar collector passes, natural convection.

Introduction générale

La croissance démographique, le progrès du développement technologique et la modernisation de la société humaine exposent le besoin énergétique du monde. Ajouté au réchauffement climatique entraîné par l'émission des gaz à effets de serres causés par l'industrialisation, on se rend compte qu'il est nécessaire de trouver des solutions alternatives pour subvenir au besoin tout en sauvegardant notre environnement saint.

Parmi ces solutions, on compte l'énergie solaire est une énergie de source renouvelable et gratuite comme les autres formes d'énergie renouvelable (vent, l'eau, ...). Cette dernière est l'origine de toute sorte l'énergie sur terre.

Les énergies renouvelables ont connu une première phase de développement à l'occasion de la crise pétrolière des années 1973 et 1978, puis une période de repli après le contre-choc de 1986, avant de retrouver un second souffle en 1998 à la suite de la signature du protocole de Kyoto, protocole qui prévoit notamment une baisse de 5.2 % des émissions de gaz à effet de serre des pays riches sur la période 2002 -2012 par rapport à 1990. A cette même période a été mis en place au niveau national le plan national de lutte contre le changement climatique ainsi que le plan national d'amélioration de l'efficacité énergétique.[1]

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est l'une des plus facilement exploitables. Comme la plus part des énergies douces, elle donne à l'utilisateur la possibilité de subvenir sans intermédiaire à une partie de ses besoins. Pourtant notre continent dispose d'un véritable gisement solaire dans la zone sahélienne pouvant faire l'objet d'une exploitation à grande échelle à des fins énergétiques.

Les techniques d'exploitation de cette ressource ont vu ces dernières années une mutation remarquable faisant intervenir une technologie de pointe, rendant ainsi les coûts d'exploitation de plus en plus attractifs, notamment dans la production de l'énergie thermique par des dispositifs appelés capteurs (collecteurs) solaire transformant l'irradiation solaire en chaleur et des panneaux solaire photovoltaïques en électricité.

Cependant, l'objet de ce travail est d'étudier la performance d'un capteur solaire thermique à air. La réalisation et les expériences ont été faites dans la station de l'unité

de recherche des énergies renouvelables en milieu saharien (URER.MS) dans wilaya d'Adrar.

Ce travail regroupé comme suit:

Cinq chapitres, une introduction et une conclusion générale la structure de ce travail. Au premier chapitre nous avons présenté la recherche bibliographique sur les capteurs solaires plans à air. Le second présente des notions d'astronomie nécessaires à toute étude relative au solaire. Le troisième une étude théorique du capteur solaire plan, ses différents constituants, ses classifications, les différents paramètres qui influent sur son rendement, son mode de fonctionnement. Le quatrième regroupe la réalisation du prototype et en fin le cinquième basé sur l'analyse des résultats et discussions.

Les résultats obtenus sont représentés graphiquement, ils sont commentés et interprétés, une conclusion générale et des recommandations sont données vers la fin.

Chapitre I : Recherche Bibliographique

1.1 Introduction

Ce chapitre représente le résumé des articles scientifiques récents et anciens sur les technologies utilisées sur les capteurs solaire thermique plan à air double passe et simple passe en régime naturelle et forcé dans le but d'améliorer leurs performances et l'efficacité. En d'autre terme, il consiste à limiter les déperditions thermiques entre l'absorbeur et l'environnement et à augmenter la quantité d'énergie absorbée avec un choix judicieux des composants des capteurs.

1.2 Travaux de recherche sur les capteurs solaire

Wei Chang et al [2] ont démontré dans leurs travaux d'analyse théorique et la recherche expérimentale sur la performance thermique du capteur solaire à air avec absorbeur des ailettes, que Les effets de réglage d'angle n'a pas d'influence thermique sur l'efficacité. L'efficacité du capteur a air plaque à ailettes varie considérablement dans les différents flux de masse d'air, en particulier lorsque le travail débit massique moyen est faible et augmente lentement. La différence d'efficacité et de la température d'entrée et de sortie lorsque la machine éolienne placée sur le dessus est à la fois plus de 5% n'en moyenne que ceux lorsqu'ils sont placés au fond. En application réelle, le ventilateur peut être installé sur le dessus de fin collecteur plat, en gardant le milieu de travail interne sous pression négative, ce qui peut améliorer la température d'exportation et d'améliorer l'utilité de la chaleur des collecteurs.

H.Moustapha, Al [3] ont élaboré une étude sur le capteur solaire a air dont le but est de faire une simulation numérique d'obstacles rectangulaires perforés afin d'améliorer les performances dynamiques. L'optimisation des performances porte plus particulièrement sur la manière de la circulation du fluide caloporteur. L'orientation du fluide caloporteur vers la paroi supérieure du capteur (Absorbeur) ; ralentissement de la vitesse de fluide ; répartition du champ de l'énergie cinétique entre les extrémités et les perforations des chicanes ; chauffage d'un maximum de fluide caloporteur. Et puis leurs résultats puis montrer une bonne concordance entre nos résultats et les résultats de Demartini. La présence de chicanes perforées a libéré les volumes morts (bloqués) en amont de ses chicanes et une recirculation du fluide caloporteur.

—=—

Influence de l'adjonction des chicanes longitudinales sur les performances d'un capteur solaire plan à air a été étudié par **S. Bahria and M. Amirat [4]**. À l'issue des résultats théoriques obtenus à partir du code de calcul élaboré, ils ont conclu que l'adjonction des chicanes disposées dans la veine d'air mobile a donné une amélioration remarquable dans le rendement thermique, ainsi que la température de l'air à la sortie du capteur. Les quantités de chaleur récupérée par l'air en léchant l'absorbeur dépendent des bonnes performances de capteur. Les résultats de simulation présentés illustrent bien que l'augmentation de nombre de chicanes correspond à une nette amélioration de rendement.

F. Chabane et Al (2013) 5] ont effectué une étude expérimentale de transfert de chaleur et de performances thermiques d'un capteur solaire plan à air avec des ailettes longitudinales placées sous l'absorbeur pour augmenter l'échange de chaleur uniformément vers le fluide caloporteur. En effet, des ailettes longitudinales creuses dans le but d'augmenter la surface d'échange, la température de sortie et le rendement thermique. Ils ont montré que l'efficacité et le rendement du capteur avec ailettes et sans ailettes comparativement dépendent de la géométrie, le rayonnement et la température de sortie la plus élevée en variant la densité de l'air, et en fin avec les ailettes donne un meilleur rendement.

D'après les travaux de recherche de **H.hssein et Al (2015), [6]** sur Le transfert de chaleur dans un capteur solaire à air par convection naturelle dans un passage rectangulaire, Le dispositif expérimental a été effectué en utilisant un canal rectangulaire avec les dimensions: 0,48 m largeur *0,07 m de profondeur * 2 m de longueur. Les expériences ont été faites sur les trois différentes corrélations de la convection naturelle, comparaison en termes de nombre de Nusselt et en fonction de différents angles d'inclinaison 30°, 50°, 70°. En effet, l'angle d'inclinaison optimal pour atteindre les meilleures performances du capteur a été jugée 50°. Ce qui suit peut être conclu à partir de l'analyse des résultats:

Sur ces tests du nombre Ra, la corrélation Tiwari surestime le nombre Nu, tandis que le Bar-Cohen et Hollands corrélations sous-estiment le nombre Nu ;Comme nombre Ra

augmente, l'erreur dans les résultats de corrélation Tiwari est réduite, tandis que les erreurs deviennent considérablement grandes dans les résultats obtenus par le Bar-Cohen et Holland corrélations ;L'angle d'inclinaison optimale du capteur est environ 50 pour obtenir un nombre de Nusselt élevé et le rendement du collecteur le plus élevé.

Des études expérimentales ont été menées sur les Performances thermiques et pertes de charges de différentes configurations de capteurs solaires plans à air par **A.Labed et Al (2015) [7]** dans la région de Biskra. L'étude est porté l'introduire différentes géométries de rugosités dans la veine d'air ; inversement de sens de l'écoulement de l'air dans le capteur et faire circuler le fluide caloporteur de part et d'autre de la plaque d'acier inférieure double passage.

Il ressort des valeurs enregistrées que l'adjonction de chicanes, de forme trapézoïdales avec une incidence normale à l'écoulement et pour le cas de la configuration et la disposition choisies, paraît la plus avantageuse par rapport à celle des chicanes rectangulaires et que dans les deux cas, le rendement du capteur est nettement supérieur à celui d'un capteur sans chicanes, une amélioration de 15 % pour un débit de 80 m³/h est remarquée pour le cas d'un capteur garni de chicanes trapézoïdales, et que par exemple pour avoir un rendement de 50 % avec un capteur sans chicanes, le débit nécessaire est de 75 m³/h, alors qu'avec un capteur garni de chicanes trapézoïdales, le débit nécessaire n'est que de 45 m³/h, autrement dit.

S.S.Krishnananth et K.Kalidasa [8] ont étudié un capteur solaire a air double passe avec stockage thermique dans le but d'améliorer le rendement thermique du système. La plaque absorbante est un acier poli. Des expériences ont été mené pour étudier la performance du dispositif avec ou sans matériau de stockage d'énergie. La cire paraffine est utilisée comme un milieu de stockage thermique. Nous avons six pipes des capsules a aluminium avec des paraffines chacun a 4 cm de diamètre et 60 cm de longueur pour stocker excès de l'énergie thermique. La plaque absorbante et les capsules sont peintes en noir mat pour absorber maximum de rayonnement solaire. Les capsules sont disposées de différentes configurations sur la plaque et l'arrière de la plaque. À partir des résultats expérimentaux, ils ont observé que,

le capteur solaire a air avec de la cire de paraffine (paraffine waxe) comme matériau de stockage d'énergie, délivre relativement la température de l'air plus élevée tout au long de la journée. L'efficacité est également plus élevée pendant les heures du soir.

L'étude a conclu que la présence de la Support de stockage thermique à la plaque d'absorption est la meilleure configuration.

S.Mariana et al [9] ont fait une étude expérimentale de l'efficacité thermique d'un capteur solaire a air double passe fonctionne à contre-courant. Le prototype a été conçu et fabriqué à Inenco, Universidad Nacional de Salta, en Argentine, Le flux d'air est forcé par un ventilateur. L'angle de pente 40° , afin de maximiser l'intensité du rayonnement solaire pendant hiver. Les résultats expérimentaux et les prédictions du modèle théorique ont été jugés en bon accord. À l'entrée du collecteur une conduite faite en tôle galvanisée a été ajoutée pour fournir un support rigide à la résistance électrique reliée à une tension régulateur pour faire varier la température de l'air entrante. En outre, il minimise l'effet de turbulence du vent sur le collecteur entrée. Des températures de sortie d'air atteint 80°C à midi solaire en utilisant une résistance électrique, et 75°C sans elle, avec une élévation de température moyenne de 40°C entre l'entrée et la sortie pour un flux massique d'air de $0,020\text{ kg / s}$. un rendement moyen quotidien de 42% a été mesuré avec des valeurs instantanées maximales atteignant 50%.

S.Vyas et Dr. S.Punjabi [10] ont mené une étude expérimentale sur un capteur solaire plan a air tester avec des mesures optiques avoir des meilleures performances thermiques: Une cellule d'essai de taille $1\text{m} \times 0,5\text{m} \times 0,1\text{m}$ a été fabriqué au laboratoire. Trois différents designs à savoir : absorbeur plan ; des ailettes transversales en V côte-poreuse ; ailettes inclinées en V côte-poreuse ; simulé avec une radiation solaire artificielle de 600 w/m^2 et d'inclinaison 30° sous condition de la convection naturelle. Les performances de ces trois modèles ont été comparées sur la base de l'efficacité thermique globale et le gradient thermique. Par suit les résultats des travaux expérimentaux réalisés sur les trois conceptions conclus que Une augmentation du pourcentage de 34,4 % du rendement thermique global du capteur solaire a air par rapport à la conception de base du dispositif de chauffe air solaire. Le gradient thermique

perpendiculaire à la surface d'absorption dans le flux thermique joue un rôle important dans la performance thermique du capteur solaire. La distribution uniforme de la température normale à la surface d'absorption augmente la température de l'air à la sortie qui conduit à accroître le rendement thermique globale.

R. Kaoulal et al, [11] ont fait des études sur la modélisation numérique d'un capteur solaire plan à air fonctionnant en régime transitoire dont l'objectif de cette étude est d'analyser l'apport énergétique dans le secteur de bâtiment et d'étudier l'efficacité énergétique. En effet, le présent travail concerne l'étude théorique d'un capteur solaire plan à air à simple passe entre l'absorbeur et la vitre, intégré en façade, fonctionnant en régime dynamique en convection naturelle. L'étude est faite par deux méthodes, la résolution numérique sous matlab en utilisant la méthode nodale de Runge-Kutta et par étude pratique sur la station d'URERMS d'Adrar. La température de l'absorbeur est la plus élevée, ce qui explique aisément par son facteur d'absorption solaire, La température de sortie du fluide varie en fonction du flux solaire. Cette conception a permis d'obtenir des températures du fluide considérable à la sortie, favorable pour les exploiter dans le préchauffage et le chauffage de bâtiment. En effet, cette dernière expérience confirme les résultats des simulations alors peut être couplé avec le logiciel dans le domaine de génie civil.

D'après une étude expérimentale réalisée par **F. Mokhtari et D. Semmar [12]** sur des différentes configurations de Capteur Solaire à Air le but est de tester la performance en deux régimes, convection naturelle et convection forcée. Trois configurations de capteurs sont représentées, la campagne de mesures a été effectuée au site de Bouzaréah (C.D.E.R) durant six jours pour les deux modes de circulation de l'air dans le capteur (forcée, naturelle). Alors, les résultats de ces dernières ont conclu que le rendement a une variation logique. Seulement le point de 13 h, on remarque la chute du rendement malgré l'importance du Δt , ceci peut être expliqué par la faible vitesse de l'air en ce point. La courbe de la température de sortie du fluide suit une évolution logique en fonction de l'évolution du flux solaire.

L'allure de la courbe du rendement instantané présente quelques perturbations dues aux conditions de l'expérimentation. Ainsi le rendement est favorable pour la circulation d'air forcée au cas échéant la vitesse est faible et c'est qui rend faible le flux utile. Le capteur avec la configuration (c) a une bonne rentabilité; la température de sortie en convection naturelle dépasse les 98 °C et en convection forcée la température atteint les 70°C. Ceci est dû à l'inclinaison de la plaque absorbante et à l'ouverture conçue sur sa partie supérieure.

K. Aoues et al [13] ont présenté dans cet article, une série de tests expérimentaux menés sur un capteur solaire plan. Afin d'optimiser les performances thermiques, le capteur a été garni dans sa veine d'air dynamique de rugosités artificielles de différentes formes et différents arrangements pour rendre turbulent l'écoulement à proximité de la plaque chaude et aussi prolonger le parcours du fluide caloporteur.

L'adjonction de ces obstacles dans le parcours offert au fluide caloporteur permet l'augmentation de l'échange thermique avec l'absorbeur. Il est important de signaler également que les chicane du modèle-1 ($\alpha = 60$) placées dans les configurations (A1 et B1) ont les meilleurs résultats par comparaison à ceux des configurations (A2 et B2) qui sont des chicanes du modèle-2 ($\alpha = 120$). Ceci peut s'expliquer par le fait que les chicanes du modèle-1 inclinées d'un angle aigu ($\alpha = 60^\circ$) permettent l'orientation du fluide caloporteur en écoulement vers la plaque absorbante, d'où l'augmentation de l'échange convectif. Par contre les chicanes du modèle-2 orientent le fluide caloporteur vers la plaque inférieure. Il a été établi que la géométrie de passage dans la section droite perpendiculaire à l'écoulement joue un rôle important. (voir figureI.1).

Ainsi, la comparaison entre les performances des quatre configurations étudiées a abouti au choix de la configuration B1 (chicanes modèle-1) comme étant celle qui a permis d'obtenir le meilleur rendement.

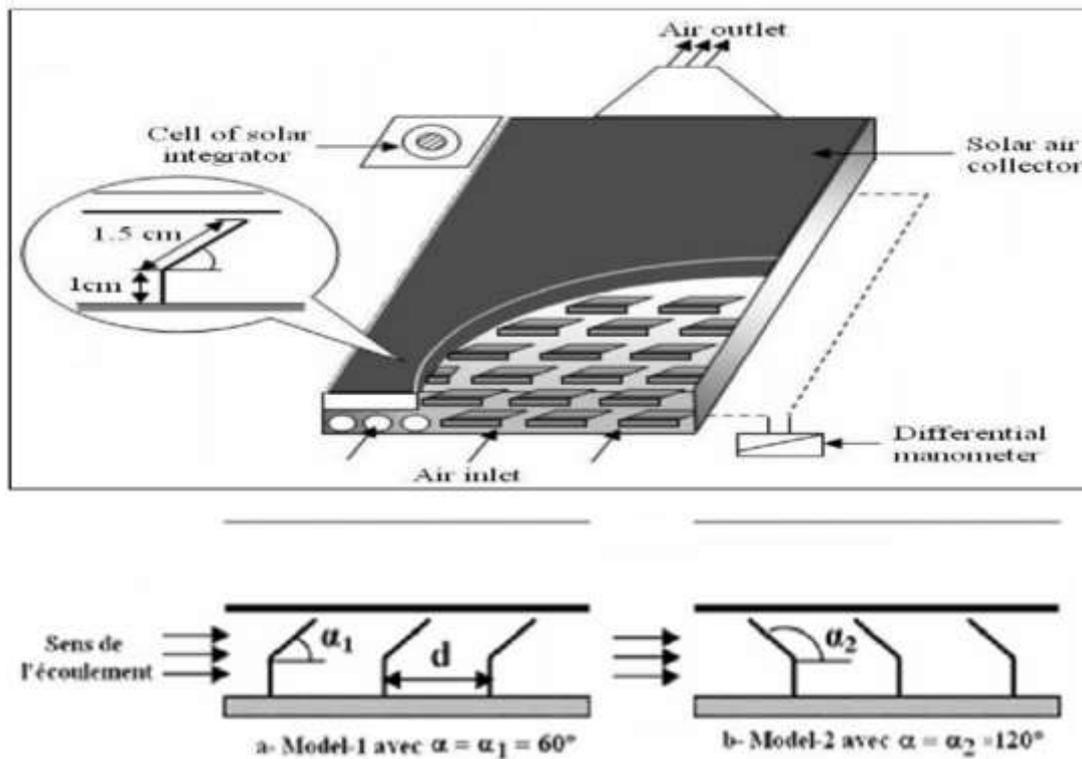


Figure I. 1 structure des configurations du dispositif étudié

N. Hatami, M. Bahadorinejad [14] ont fait une étude sur un capteur solaire plan à air vertical, dont le but est de déterminer expérimentalement le coefficient de transfert de chaleur par convection naturelle.

Le dispositif étudié à 2,5 m de hauteur et 1 m de largeur ; la couverture est testé en cas simple vitrage et double vitrage. En total, six cas de flux d'air ont été examiné (deux cas avec simple vitrage et quatre cas avec double vitrage). Ces cas comprenaient des états que l'air peut circuler dans les espaces entre les plaques absorbeur et couvercles en verre ou de l'air a été enfermé dans ces espaces. Température de la plaque absorbante, la température de la plaque vers l'arrière, les températures de couverture de verre, les taux de débit massique de l'air à l'intérieur des canaux et les radiations solaires ont été mesurées. Les relations suivantes sont proposées Pour les canaux dans lesquels l'air peut circuler :

$$Nu = 0.7362Ra^{0.2579} \quad (I.1)$$

Pour les enceintes

$$Nu = 0.1377Ra^{0.2229} \quad (I.2)$$

Dans la première relation, la longueur caractéristique de Ra et Nu est la hauteur du capteur solaire et dans le deuxième rapport de cette longueur est la distance entre les deux plaques verticales. L'efficacité du capteur solaire à air a été déterminée dans différents cas. L'efficacité maximale a été trouvée lorsque le réchauffeur d'air avait deux couvertures et l'air peut circuler dans tous les canaux.

K. Sopian et al [15] avaient effectué une étude expérimentale du rendement thermique d'un capteur solaire à doubles passes sans et avec un milieu poreux dans le deuxième canal. Ils ont étudié l'effet du changement de la profondeur supérieure et inférieure du canal avec et sans milieu poreux sur le rendement thermique, en plus des effets du débit d'air, du rayonnement et de l'élévation de la température. Dans ce travail, ils ont constaté que la présence du milieu poreux augmente le secteur de transfert thermique d'où l'augmentation de la température de sortie et par conséquent le rendement thermique des systèmes, et que le capteur solaire à double passes a des performances thermiques plus élevées que celles à passe simple. Le rendement thermique d'un capteur solaire à double passes avec un milieu poreux est environ 60-70 %, c'est-à-dire 20-70 % plus haut que le capteur sans milieu poreux. Les résultats ont indiqué que ce type de collecteur peut être employé pour une grande variété d'applications, telles que le séchage solaire des produits agricoles.

Les travaux de recherches de **K. Hami, et al [16]** sur la modélisation d'un système de chauffage passif dans la région de Biskra, le dispositif est un capteur solaire à air fonctionne en convection naturelle en guise de chauffage de local (mur trombe). L'expérience est faite par une étude numérique avec le code CFD Fluent. Alors, le principe de fonctionnement est très simple l'air au contact du mur se chauffe, s'élève et pénètre dans le local à travers des orifices en haut du mur. L'air intérieur plus froid, est dégagé naturellement par les orifices inférieurs. Ce parcours est appelé **thermo-circulation**. Le chauffage du local est obtenu principalement par convection sur la face interne déphasage, alors qu'un chauffage instantané est possible grâce à la thermo-circulation. Ces travaux de simulation ont permis d'obtenir des températures du fluide assez élevées à la sortie, favorable pour les exploiter dans le séchage des produits

agroalimentaires. L'utilisation de l'énergie solaire consiste à bénéficier de l'apport direct du rayonnement solaire, c'est-à-dire l'énergie solaire passive.

Conclusion

Ce chapitre a résumé les travaux des recherches publiés sur les dispositifs convertisseurs de l'énergie solaire de cette dernière décennie. Les capteurs solaires plan à air avec des obstacles (chicanes, ailettes, ...). La plupart des chercheurs ont confirmés que beaucoup mieux rentable. Cependant, on parle des capteurs (collecteurs) solaire plan a air qui fonctionnent en régime naturelle et artificiel (forcé), c'est-à-dire échange convectif avec le fluide caloporteur (air) avec de diverse configurations simple passe double passe avec et sans obstacles.

Chapitre II : Gisement solaire

II.1 Introduction

Le gisement solaire représente l'énergie disponible sous forme de rayonnement solaire. Les énergies renouvelables ou les énergies non conventionnelles, dont les plus importantes sont : solaire, éolienne, géothermie, biomasse et hydraulique.

Elles ont pour origine des sources d'énergie inépuisables grâce aux cycles naturels telle que, le rayonnement solaire, le flux de la chaleur interne de la terre, le vent et le cycle du carbone dans la biosphère. L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est l'une de plus facilement exploitable. Comme la plus part des énergies douces, elle donne à l'usager la possibilité de subvenir sans intermédiaire a une partie de ses besoins.

La connaissance de la position du soleil dans le ciel à tout instant et en tout lieu est nécessaire pour l'étude de l'énergie interceptée. Les heures du couchés et du levés ainsi que la trajectoire du soleil dans le ciel au cours d'une journée permettent d'évaluer certaines grandeurs telle que la durée maximale d'insolation, l'irradiation globale. [17], [18]

II.2 Soleil et ses caractéristiques

Le soleil c'est un corps céleste brillant à une forme pseudo-sphérique d'un diamètre de 14.10^5 km environ, à l'intérieur duquel se déroulent des formidables réactions nucléaires de fusion extraordinaire. L'énergie produite dans le cœur du soleil où la température atteint des millions de degrés est transmise par convection et rayonnement à sa surface extérieure (photosphère) ; c'est la photosphère qui est la source de la majorité du rayonnement solaire émis dans tout l'espace qui entoure le soleil. [19]

Il est constitué chimiquement par large prédominance **d'hydrogène 92,1%**, il permet d'envisager l'avenir au-delà de quatre milliards d'années ; **l'hélium est de 7,8%** ; et est de **0.1%** d'autres gaz (oxygène, carbone, azote, néon, fer, silicium, ...). Il est situé à une distance de la terre est égale à environ 150 million de km. Sa luminosité totale (sa puissance) qu'il émet sous forme des photons, est à peu près à 4.10^{26} w, seule une partie est interceptée par la terre, elle est de l'ordre de $1,7.10^{17}$ w. Elle nous parvient essentiellement sous d'ondes électromagnétiques ; 30% de cette puissance est réfléchié vers l'espace, 47% est absorbée et 23% est utilisée comme source d'énergie pour le cycle d'évaporation-précipitation de l'atmosphère. [19], [20]

Il est caractérisé par les paramètres physiques récapitulés dans le tableau ci-dessous [20]:

Tableau II. 1 Caractéristiques du soleil

Caractéristiques	Valeurs	Unités/symbole
Masse	$1,9891.10^{30}$	Kg
Diamètre	14.10^5	Km
Masse volumique moyenne	1408	Kg/m ³
Surface	$6,09.10^{12}$	Km ²
Volume	$1,41.10^{18}$	Km ³
Flux énergétique	$3,83.10^{26}$	Watt
Période galactique	$4,6.10^9$	année
Gravité à la surface	273,95	m/s ²
Vitesse	217	m/s
Distance du centre de la voie lacté	$2,5.10^{17}$	Km

II.3 Structure du soleil

Le soleil est un astre constitué de plusieurs zones ou couches à savoir : l'intérieur, la photosphère, la chromosphère et la couronne solaire. [19], [26]

II.3.1 Intérieur

A l'intérieur du Soleil, se trouve un noyau qui occupe 15 % du Soleil, à une température de 14 millions de degrés où l'hydrogène est transformé en hélium par réaction nucléaire.

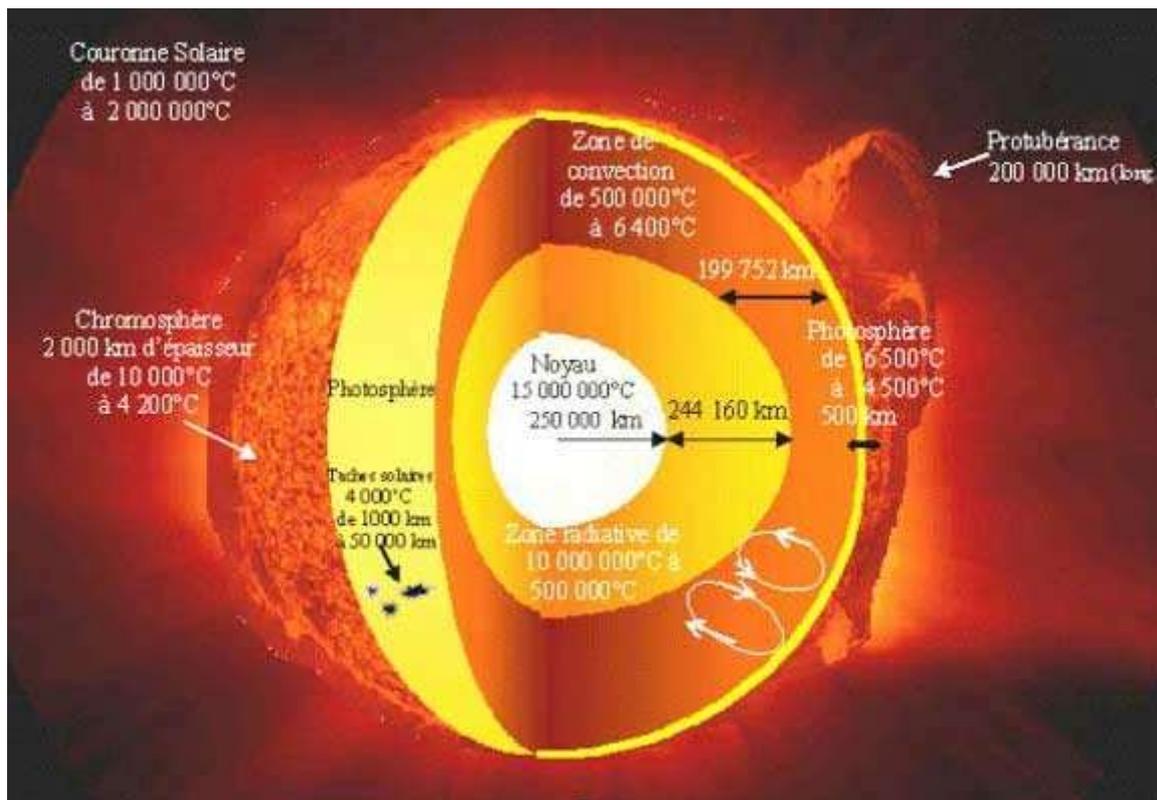


Figure II 1 Structure du soleil

II.3.2 Photosphère

La surface visible du Soleil qui a environ une température de 6 000 °C, s'appelle la photosphère. C'est une zone intermédiaire, des nuages de gaz chauds provenant du noyau s'élèvent à la surface.

II.3.3 Chromosphère

Au-dessus de la photosphère, se trouve la chromosphère pouvant atteindre 10 000 km de hauteur. Sa température varie entre 10 000 °C juste au-dessus de la photosphère et au-dessus $2 \cdot 10^4$ °C dans les couches les plus élevées pour atteindre 1 million de degrés quelques 10000 km plus haut où elle fusionne avec la basse couronne.

II.3.4 Couronne solaire

Au-dessus de la chromosphère, se trouve la couronne solaire qui s'étend très loin dans l'espace, voire même au-delà de l'orbite terrestre. Sa température varie entre 10^6 et $2 \cdot 10^6$ °C.

II.3.5 Cœur (noyau)

Le cœur est la seule partie du Soleil qui produise une quantité notable de chaleur par fusion, le reste de l'étoile tire sa chaleur uniquement de l'énergie provenant du cœur. La totalité de l'énergie produite dans le cœur doit traverser de nombreuses couches successives jusqu'à la photosphère, avant de s'échapper dans l'espace sous forme de rayonnement solaire ou de flux de particules. [20]

II.3.6 Héliosphère

Débutant à environ 20 rayons solaires (0,1 ua) du centre du Soleil, l'héliosphère s'étend jusqu'aux confins du système solaire. On admet qu'elle débute lorsque le flux de vent solaire devient plus rapide que les ondes d'Alfven, les turbulences et forces dynamiques survenant au-delà de cette frontière n'ont pas d'influence sur la structure de la couronne solaire, car l'information ne peut se déplacer qu'à la vitesse des ondes d'Alfven. Le vent solaire se déplace ensuite en continu à travers l'héliosphère, donnant au champ magnétique solaire la forme d'une spirale de Parker jusqu'à sa rencontre avec l'héliopause, à plus de 50 ua du Soleil. En décembre 2004, Voyager 1 est devenue la première sonde à franchir l'héliopause. Chacune des deux sondes Voyager a détecté d'importants niveaux énergétiques à l'approche de cette frontière. [23]

II.4 Atmosphère terrestre

L'atmosphère est constituée de plusieurs couches on distingue notamment [23] :

- la troposphère qui s'étend jusqu'à 10 à 12 km d'altitude et où la température décroît de 6.5 °C par km, pour atteindre - 56 °C à la base de la couche suivante.
- la stratosphère de 12 à 55 km où la température croît de -56 °C à 0 °C jusqu'à la stratopause. C'est elle qui contient une mince couche d'ozone.
- la mésosphère de 50 à 85 km où la température décroît à nouveau de 0°C à -90 °C.
- l'ionosphère (confondue avec la thermosphère) et où la température croît régulièrement pour atteindre 1500 °C. C'est elle qui contient les couches réfléchissantes pour les ondes radio (couches d'Heaviside); elle s'étend jusqu'à 700km d'altitude.
- l'exosphère au-delà de 700 km qui s'ouvre sans frontière sur l'espace intersidéral.

II.4.1 Composition de l'atmosphère

La composition de l'atmosphère est à peu près la même pour les trois premières couches: 78 % d'azote, 21 % d'oxygène, 0.9 % d'argon, 0.03 % de CO₂ et des traces d'autres gaz, avec de la vapeur d'eau dans la troposphère et une mince couche d'ozone dans la stratosphère dont le rôle est si important dans l'absorption des rayons ultraviolets les plus durs. L'essentiel des modifications subies par le rayonnement solaire se fait dans la troposphère par diffusion, diffraction, absorption, réfraction par des gaz de température et de densité croissante. [25]

II.4.2 Atténuation du rayonnement solaire (rôle de l'atmosphère)

L'énergie solaire ne parvient pas en intégralité sur la terre. En effet elle subit des transformations en traversant l'atmosphère par absorption et par diffusion.

L'absorption est sélective et dépend principalement de 4 éléments, qui sont :

- L'ozone qui forme un écran et arrête les UV ($\lambda < 0,28\mu\text{m}$) nocifs pour la vie.
- L'oxygène qui absorbe des bandes étroites du spectre visible (vers 0,69 et 0,76 μm).
- Le gaz carbonique qui absorbe une partie de l'IR lointain ($\lambda > 2\mu\text{m}$).
- La vapeur d'eau qui entraîne des bandes d'absorption multiples surtout dans l'IR, on ne la rencontre pratiquement qu'au niveau du sol ($Z < 5\text{km}$).

Les poussières et les nuages ont aussi leur importance dans la diffusion du rayonnement solaire.

II.4.3 Absorption par l'atmosphère

Les rayons UV lointains sont totalement absorbés dans l'ionosphère et dans la stratosphère. Dans la gamme de longueur d'ondes qui nous intéresse (0.2 à 2 μm) pratiquement seuls l'ozone, la vapeur d'eau et le gaz carbonique dans une moindre mesure, interviennent de manière sensible dans l'absorption gazeuse. L'ozone absorbe l'UV moyen (sur une large bande de 0.2 μ à 0.7 μm). L'oxygène à deux bandes étroites de faible atténuation dans le visible à 0.69 et 0.76 μm . La vapeur d'eau a sept bandes d'absorption dont 3 fortes dans l'infrarouge moyen. Le gaz carbonique, absorbe suivant trois raies étroites dans l'IR au-delà de 1.5 μm . [22], [35]

La figure II 2 ci-dessous montre clairement l'évolution d'éclairement spectral en fonction de longueur d'onde.

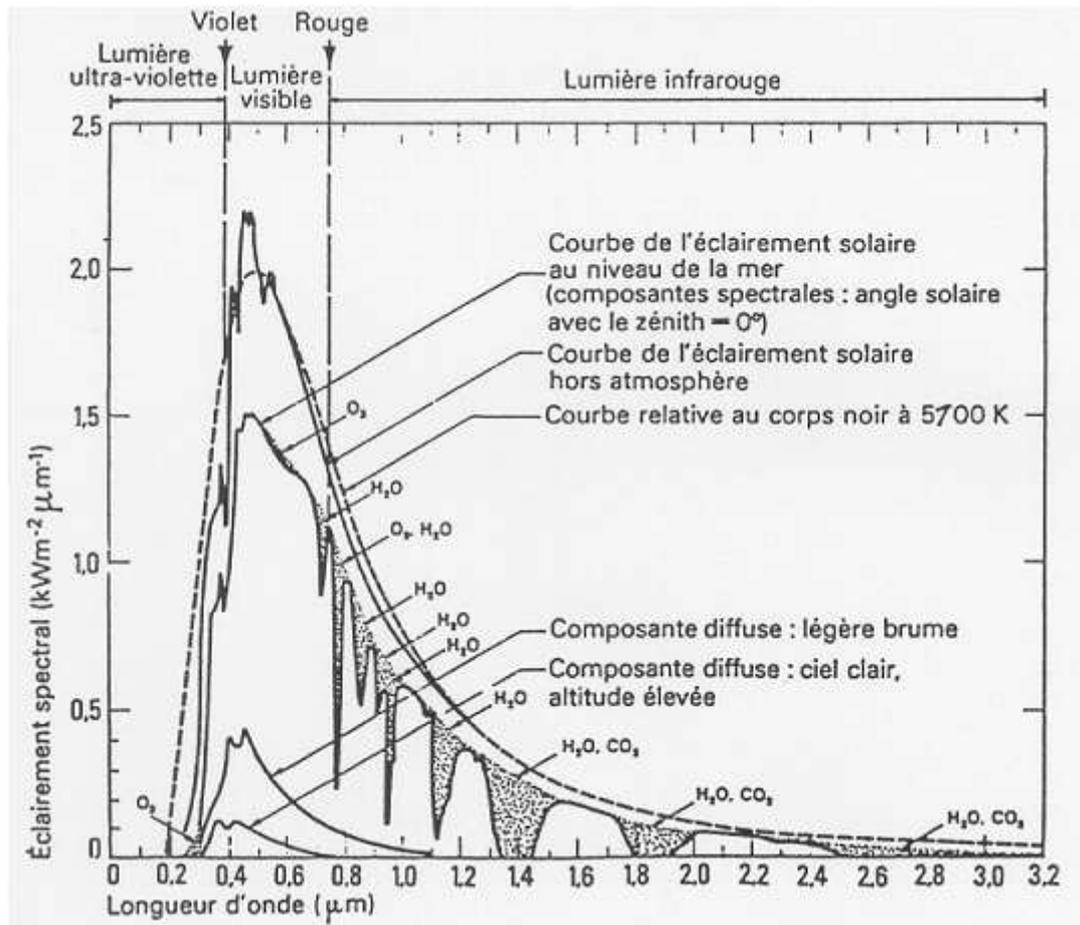


Figure II 2 Répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre

II.5 Mouvement de la terre autour du soleil

Dans son mouvement autour du soleil, la terre décrit une ellipse dont le soleil est l'un de ses foyers, la révolution complète s'effectue en une période de 365,25 jours. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique. [21]

C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est la plus proche du soleil : 147 millions de km. Au 22 juin la distance terre-soleil vaut 152 millions de km, c'est le jour où la terre est la plus éloignée, c'est le solstice d'été. Le 21 mars et le 21 septembre sont appelés respectivement équinoxes de printemps et équinoxe d'automne. Aux équinoxes le jour et la nuit sont égaux.

En plus de sa rotation autour du soleil, la terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Cette rotation s'effectue en une journée. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la terre est appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique, ils font entre eux un angle appelé inclinaison égale à $23^\circ 27'$. La distance minimale et maximale entre les deux astres vaut donc respectivement 0.983 et 1.017.

Ces derniers sont illustrés par la figure II. 2

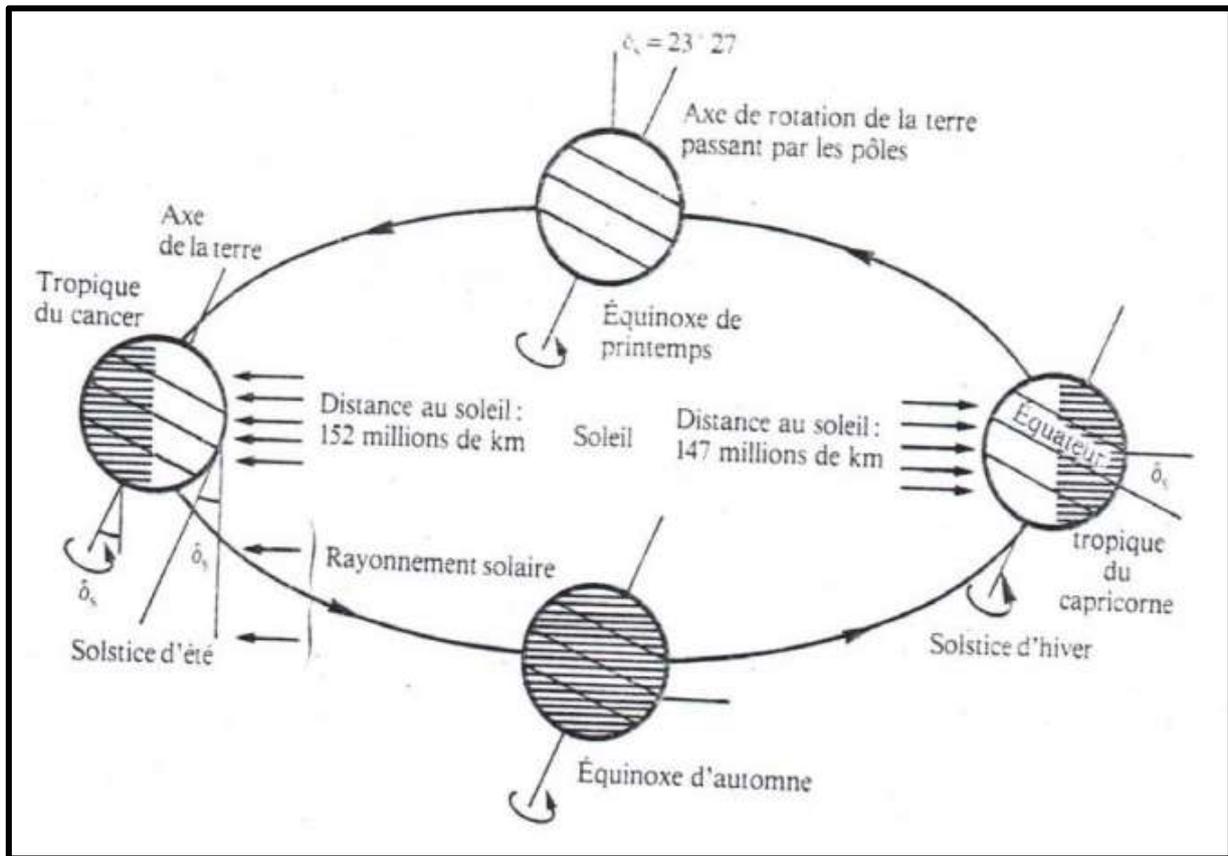


Figure II 3 Mouvement de la terre autour du soleil

II.6 Caractéristiques physiques de la terre

Les principales caractéristiques physiques de la terre sont données dans le tableau II.2 : [26]

Tableau II. 2 Caractéristiques de la terre

Caractéristiques	Valeur
Masse	6.10^{21} t
Volume	1083320.10^6 km ³
surface	510101.10^3 km ²
Diamètre équatorial	12756,32 km
Diamètre polaire	12713,55 km

II.7 Paramètres de position.

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

II.7.1 Coordonnées géographiques terrestres (φ , L).

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

- **Latitude (Φ)** : correspond à l'angle entre le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu et le plan équatorial. Elle varie de -90° à $+90^\circ$, elle est positive vers le nord ;
- **Longitude (Le)** : représente l'angle entre le plan méridien passant par ce lieu et le plan méridien origine (Green winch). On a décidé de fixer la ligne de changement de date sur le méridien n° 12 au beau milieu du Pacifique. Quand il est midi le jour J à Greenwich, il est minuit du même jour sur la bordure Ouest de la ligne de changement de date et minuit du jour J-1 sur sa bordure Est.
- L'altitude est la distance verticale exprimée en mètres, séparant le point considéré du relief terrestre du niveau de la mer, pris comme surface de référence. [26]

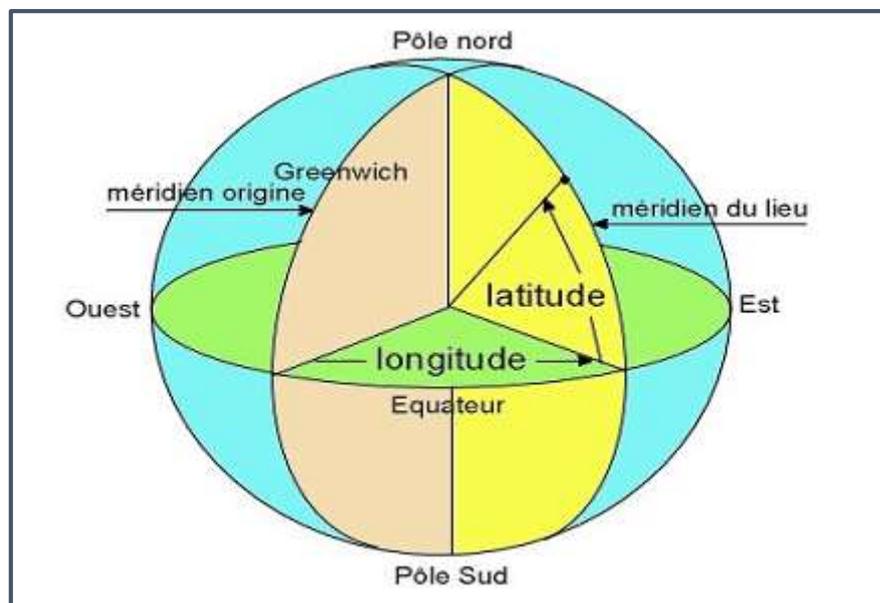


Figure II 4 Repérage des coordonnées géographiques Coordonnées horizontales.

Le repère horizontal est formé par le plan de l'horizon astronomique et la verticale du lieu. . Dans ce repère les coordonnées sont la hauteur h et l'azimute a ainsi elles sont définies ci-après (figure.4)

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

0° au levé et au coucher du soleil 90° à midi temps solaire vrai.

Il est donné par la relation suivante :

$$\sin(h) = \sin(\Phi).\sin(\delta) + \cos(\Phi).\cos(\delta) \quad (\text{II.3})$$

- **Azimut (a)** : correspondant à l'angle que fait le plan du méridien local avec le plan vertical passant par le soleil; a est compté négativement vers l'est et positivement vers l'ouest.

II.7.2 Orientation d'un plan

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

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

$$\beta = 90 - \gamma \quad (II.5)$$

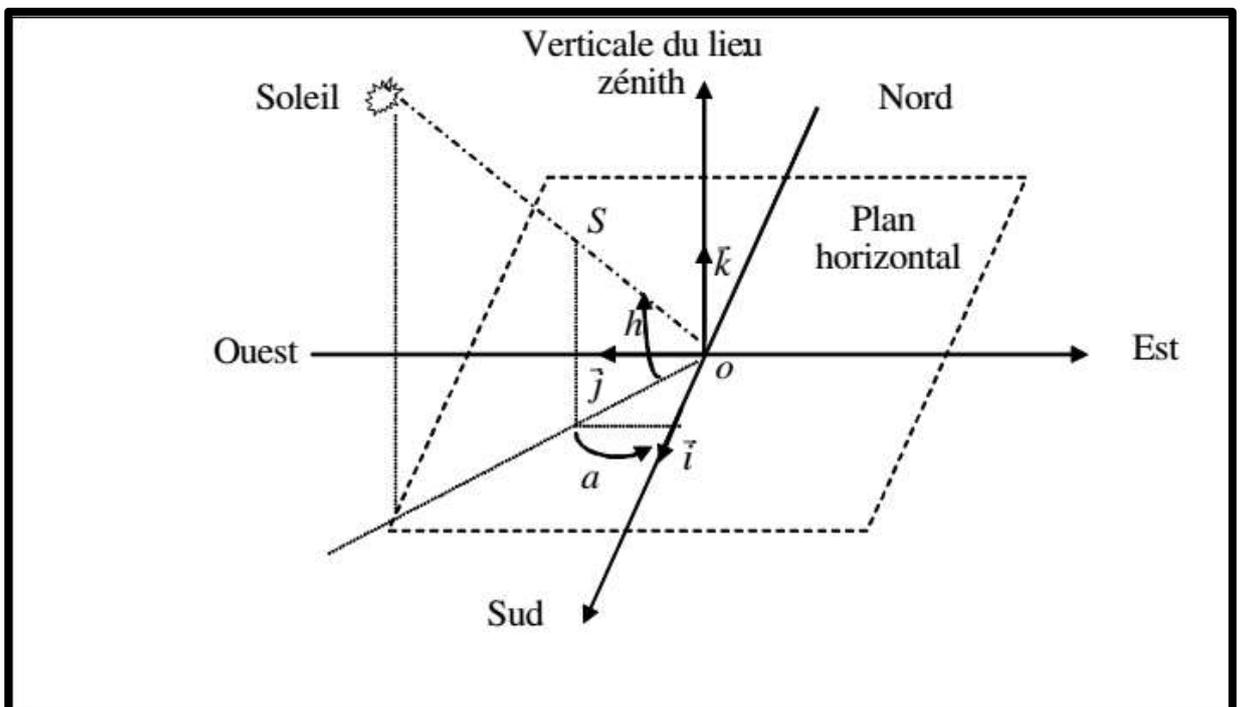


Figure II 5 Repère horizontal de coordonnées azimuthales.

II.7.3 Angle d'incidence sur un plan

L'angle d'incident i est l'angle entre la direction du soleil et la normale du plan. Cet angle est déterminé par la connaissance des cosinus directeurs du rayon et la normale en coordonnées horizontales [23] :

$$\cos(i) = \cos(\alpha - a) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(h) + \sin(\gamma) \cdot \sin(h) \quad (II.6)$$

II.8 Temps solaires

D'abord l'angle horaire (ω) étant l'angle formé par le plan méridien passant par le centre du soleil et le plan vertical du lieu (méridien). Il définit le vrai temps solaire.

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

II.8.1 TSV (temps solaire vrai)

A chaque heure qui s'écoule correspond une augmentation de l'angle horaire de 15° , soit encore 4mn de temps par $^\circ$ de longitude. A la latitude de 45° , une mn de temps représente environ 20km, 11 km au cercle polaire et 28 km à l'équateur.

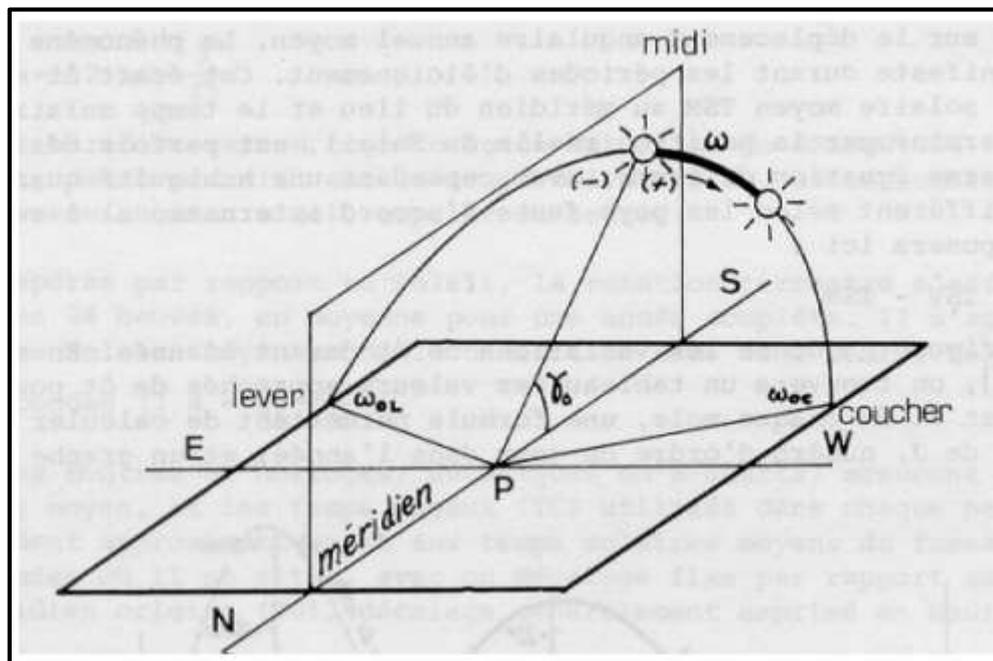


Figure II 6 angle horaire ω du soleil

II.8.2 Temps universel (TU)

Le temps universel (TU) est défini par l'heure de passage du soleil à la méridienne origine. En France métropolitaine, les longitudes sont comprises entre -5° (Ouessant) et $+8^\circ$ (Strasbourg), entraînant des écarts de -20mn à +32mn entre le temps solaire local (TSL) et le temps universel.

$$TU = TSM + (L / 15) \quad (\text{II.5})$$

L : la longitude exprimée en degrés et les temps en heures.

II.8.3 Temps légal TL

C'est l'heure que nous lisons aux horloges publiques :

$$TL = TU + C \quad (II.6)$$

C étant le décalage entre le méridien de Greenwich et l'état considéré (C=1 heure pour l'Algérie). [23]

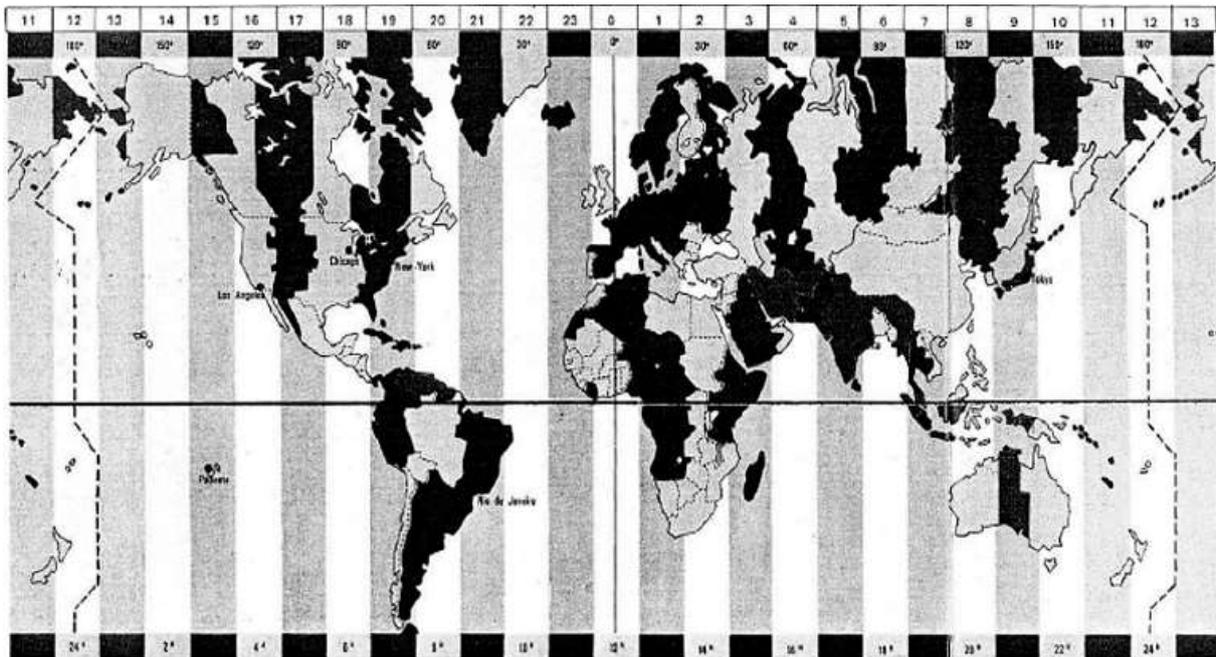


Figure II 7 Fuseaux horaires avec le décalage horaire

II.8.4 Temps solaire moyen TSM

Ce temps varie plus ou moins par rapport au TSV, sa relation est donnée par l'équation ci-après :

$$TSM = TSV - ET \quad (II.6)$$

II.8.5 Durée de jour [23]

Le module w_l de l'angle horaire au lever du soleil s'obtient en écrivant $\sin(h)=0$. On n'en déduit que la durée du jour est :

$$d = 24 * \frac{w_l}{\pi} \quad (II.7)$$

La durée du jour est en heures et w_l en radians.

II.8.6 Equation du Temps (ET)

L'équation du temps ET varie de -14,5 minutes (du 10 au 15 février) à + 16,5 minutes (du 25 au 30 octobre). Une bonne approximation du temps ET est donnée par l'équation suivante :

$$Et = 9.9 \sin[2(0.986j + 100)] - 7.7 \sin(0.986j - 2) \quad (\text{II.8})$$

Où Et est exprimé par minutes et j numéro du jour dans l'année à partir de 1^{er} janvier. Voir le tableau II.3 :

Tableau II. 3 Numéro caractéristique du début de chaque mois

MOIS	J	F	M	AV	M	J	Jt	At.	S	O	N	D
Numéro caractéristique de chaque mois	0	31	59	90	120	151	181	212	243	273	304	334

II.9 Rayonnement solaire

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

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 $3 \cdot 10^8$ m/s et couvrant toutes les longueurs d'ondes depuis les rayons X et gamma jusqu'à l'I.R lointain. Cependant 99.9% de l'énergie se situe entre 0.2 et $8\mu\text{m}$. [19]

Avec une supposition approximative et 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. [20]

II.9.1 Spectre de la radiation solaire

Le spectre de la radiation solaire peut approximativement se diviser en ultraviolet (UV), lumière visible, infrarouge (IR) et grandes longueurs d'ondes (chaleur). Voir tableau II.4

Tableau II. 4 Spectre électromagnétique

les rayons		<i>Gamme de longueur d'onde</i>
Rayons X		0.01 à 1A
Ultraviolet	UV extrême	1 à 100A
	UV éloigné	10 à 100nm
	UV moyen	100 à 200nm
	UV proche	200 à 300nm
Rayons gamma		300 à 400 nm
Lumière visible		400 à 770nm
infrarouge	IR proche	770 à 2500nm
	IR moyen	2.5 à 30 μm
	IR éloigné	30 à 300 μm
Ondes hertziennes	Micro-ondes	0.3 à 100 mm
	Radio et télévision	0.1 à 1000m

II.9.2 Constante solaire (I_0)

La constante solaire est le flux énergétique reçus par une surface unité. Dans notre cas, la valeur qui a été retenue en 1980 est : $I_0 = 1367 \frac{W}{m^2}$

I_0 est variable autour de l'année puis que la distance terre-soleil elle-même variable. (Trajectoire elliptique). La correction de cette dernière est donnée par l'équation suivante [23]:

$$C_{t-s} = 1 + 0.034 \left(\frac{360}{365} (j - 2) \right) \quad (II.4)$$

La constante solaire est corrigée comme suit :

$$I = I_0 C_{t-s} \quad (\text{II.5})$$

II.9.3 Irradiation ou rayonnement solaire au sol

Est le rayonnement qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications, il est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère, ses rayons sont parallèles entre eux.

Le rayonnement solaire arrivant au sol a au moins deux composantes: une composante directe S et une composante diffuse D, le tout formant le rayonnement global G.

Le rayonnement direct (S)

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. 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. [25]

II.9.4 Rayonnement diffus (D)

La composante diffuse provenant de toute la voûte céleste, elle n'a pas d'orientation privilégiée. Elle ne peut donc être concentrée par des instruments optiques. Le rayonnement diffus est plus riche en bleu que le rayonnement global. Les photopiles étant des détecteurs sélectifs, ce point a son importance. En outre on peut démontrer que dans les régions de hautes latitudes, en hiver où le ciel est souvent couvert, il est inutile d'orienter les panneaux solaires dans la direction du soleil, car la composante diffuse est si importante (80 %) qu'il est préférable de monter les panneaux à l'horizontale pour qu'ils voient toute la voûte céleste. [26]

On distingue deux types de diffusions : diffusion de Rayleigh et diffusion de Mie

- La diffusion de Rayleigh affecte surtout les molécules d'air pur et sec comme l'azote et l'oxygène. C'est une diffusion sélective causée par les particules dont les diamètres et très inférieur à la longueur d'onde incidente. En moyenne, en prenant compte la course du soleil et les différentes longueurs d'onde, environ 13% du rayonnement solaire incident subissent la diffusion de Rayleigh
- La diffusion de Mie désigne la diffusion par les particules dont la taille est de même ordre de grandeur que les longueurs d'onde, comme le vapeur d'eau et les aérosols.

Les phénomènes d'absorption et de diffusion par les nuages réduisent considérablement le rayonnement reçu au sol surtout pour les longueurs d'onde supérieures à 1 µm. Les nuages sont des particules dont les dimensions sont notablement supérieures aux longueurs d'ondes ultraviolettes et visibles.

Le taux d'atténuation de nuages dépend de leur épaisseur, leur nature et leur distribution dans le ciel. Les nuages le plus épais n'absorbent qu'environ 8% de l'énergie incidente. la distribution de ces différents phénomènes est illustré par la figure II.9

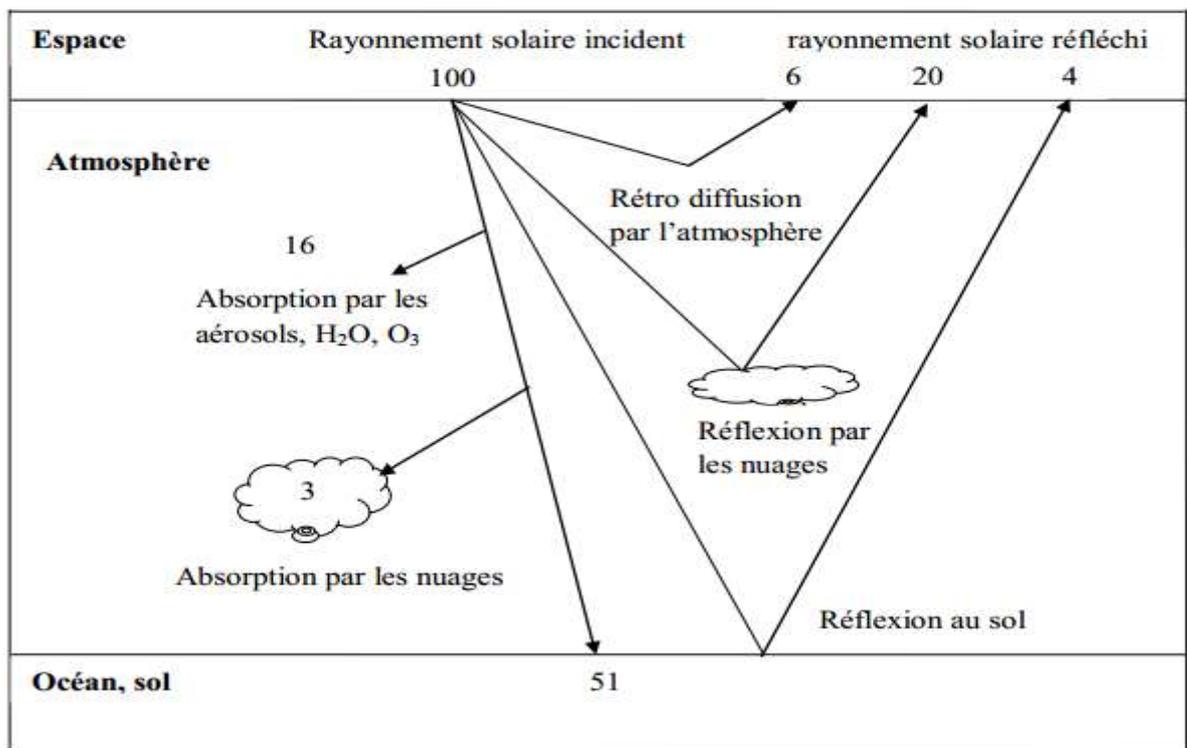


Figure II 8 : Processus de distribution du rayonnement solaire

II.9.5 Rayonnement global (G)

Le rayonnement global est la somme des rayonnements direct et diffus. Est donnée par la relation :

$$G = S+D \tag{II.6}$$

II.10 Albédo

Nom masculin originaire du bas latin "albédo", blancheur; c'est la fraction d'un rayonnement incident diffusée ou réfléchi par un obstacle. Ce terme étant généralement réservé au sol ou aux nuages, c'est une valeur moyenne de leur réflectance pour le rayonnement considéré et pour tous les angles d'incidences possibles. Par définition, le corps noir possède un albédo nul. L'albédo de certaines masses nuageuses brillantes (cumulus et cumulo-nimbus) peut être très important de sorte que l'éclairement au sol dépasse $1\,400\text{ W/m}^2$. [23], [25]

De même, il faudra tenir compte de l'albédo du sol pour le dimensionnement d'installations solaires installées sur une surface enneigée (refuges de montagne), sur l'eau (bouées de navigation), dans les zones désertiques, ou même sur les toitures des immeubles. La valeur de l'albédo du sol α habituellement retenue est de 0,2 pour les sols cultivés, 0,3 à 0,4 pour le sable, 0,6 à 0,8 pour la neige. L'influence de l'albédo du sol est notable, par ciel clair, dans le cas de surfaces réceptrices inclinées, et surtout verticales. La réflectance d'un toit, d'une rue, d'un champ, d'une paroi, etc... doit être déterminée et précisée dans chaque cas particulier.

On définit généralement l'albédo comme étant le rapport de l'énergie solaire réfléchi par une surface sur l'énergie solaire incidente. Le tableau II.5 regroupe les valeurs d'albédos pour différentes surfaces : [29]

Tableau II. 5 Albédo de quelques différentes surfaces

Type de surface	Albédo
Surface de lac	0.02 à 0.04
Forêt tropical	0.12
Sable léger et sec	0.25 à 0.45
Sol sombre	0.05 à 0.15
Glace	0.30 à 0.40
Neige	0.60 à 0.85
nuage	0.86

II.11 Taux d'ensoleillement

Par ciel clair, sans nuages, le sol reçoit le rayonnement solaire direct pendant toute la durée du jour, ou plus précisément pendant la durée maximale d'ensoleillement SS_0 . On appelle taux d'ensoleillement σ , le rapport entre la durée effective et la durée maximale d'ensoleillement:

$$\sigma = \frac{SS}{SS_0} \quad (\text{II.7})$$

II.12 Gisement solaire en Algérie

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire. [21]

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure ci-dessous :

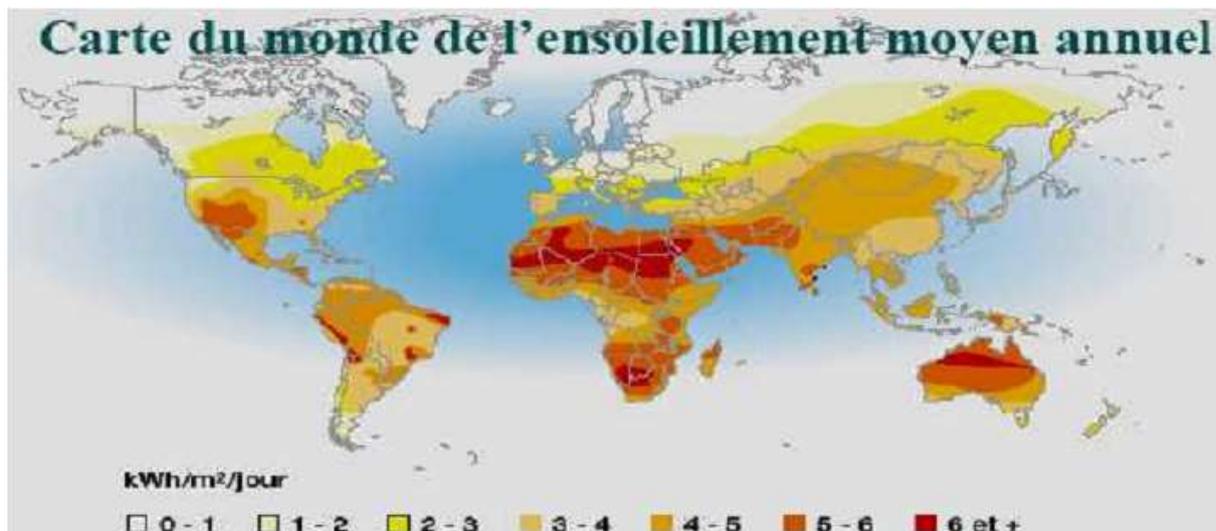


Figure II 9 : Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été

découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau II.6 selon l'ensoleillement reçu annuellement [29]:

Tableau II. 6 Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques [26]

Régions	Régions côtières	Haut plateaux	Sahara
Superficie(%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	2650

La durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de 3500h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8h/j et peut arriver jusqu'à 12h/j pendant l'été à l'exception de l'extrême sud où elle baisse jusqu'à 6h/j en période estivale.

La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie (figure II.11).

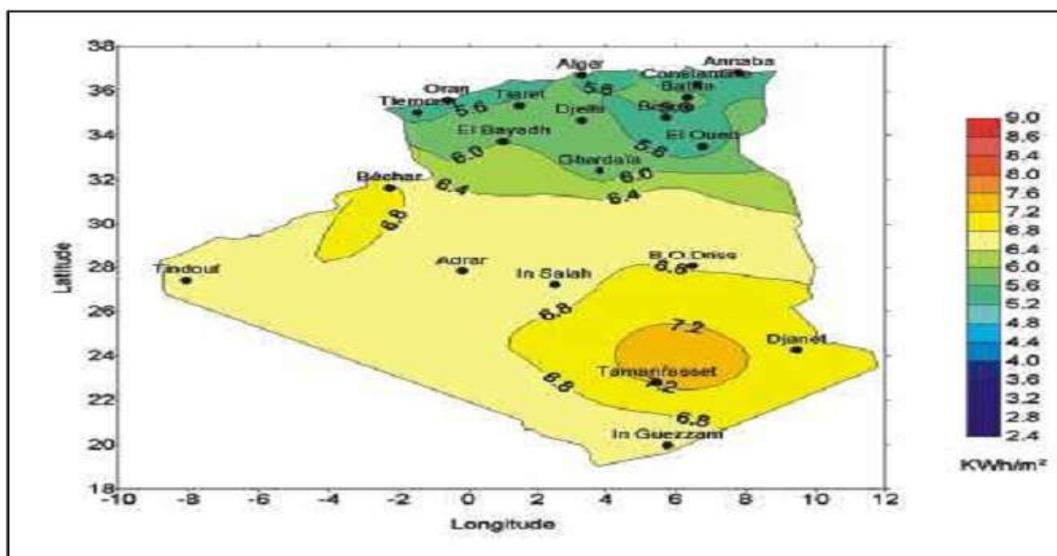


Figure II 10 Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu [20]

En Algérie, il existe un réseau de 78 stations de mesure météorologiques de l'O.N.M (annexe D) réparties sur tout le territoire algérien (figure II.12) [20].

Cependant, seules 7 stations météorologiques assurent la mesure des composantes diffuses et globales du rayonnement solaire reçu sur un plan horizontal en raison, soit du manque de fiabilité des appareils de mesure, ou bien, du coût élevé d'un tel appareillage. La durée d'insolation quant à elle, est mesurée par un héliographe dans la majorité des stations de (O.N.M) à cause de la facilité de sa mise en œuvre.

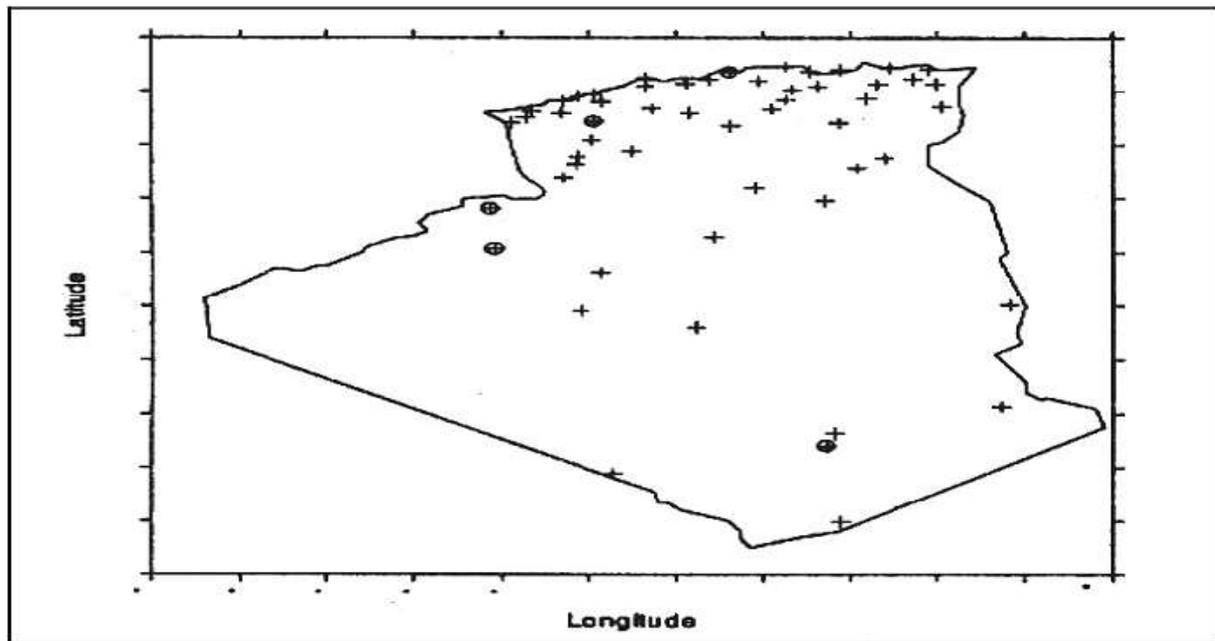


Figure II 11 Répartition territoriale des stations météorologiques en Algérie

Conclusion

Ce présent chapitre, décrit les informations générales sur le gisement solaire dans le monde et en Algérie. Les paramètres de déterminations de la position du soleil dans l'espace, les différents temps solaires et les coordonnées géographiques. La structure du soleil et les caractéristiques de l'atmosphère aussi déterminé dans ce chapitre.

Chapitre III : Études théoriques et thermique des capteurs solaires

III.1 Introduction

Les applications thermiques de l'énergie solaire, telles que le dessalement, le séchage des produits agro-alimentaires et le chauffage des habitations ou de l'eau sanitaire, exigent de la part des collecteurs des rendements élevés.

Notre travail traite d'un problème physique concernant le capteur solaire, de ce fait, nous nous proposons ici de décrire d'une manière succincte un capteur solaire héliothermique et le mécanisme de conversion de l'énergie du rayonnement électromagnétique en chaleur. Ainsi nous allons citer quelques-uns des nombreux travaux effectués dans le cadre de cette recherche contractuelle : celle qui porte sur les transferts de chaleur par conduction, convection naturelle et rayonnement dans des géométries de type capteur solaire héliothermique. Nous décrirons également les différents travaux qui se sont intéressés à l'amélioration du rendement du capteur solaire thermique. [32]

III.2 Définition et principe d'un capteur solaire plan

Le capteur solaire plan est tout système exposé au rayonnement solaire afin de le capter et de le transformer en énergie thermique.

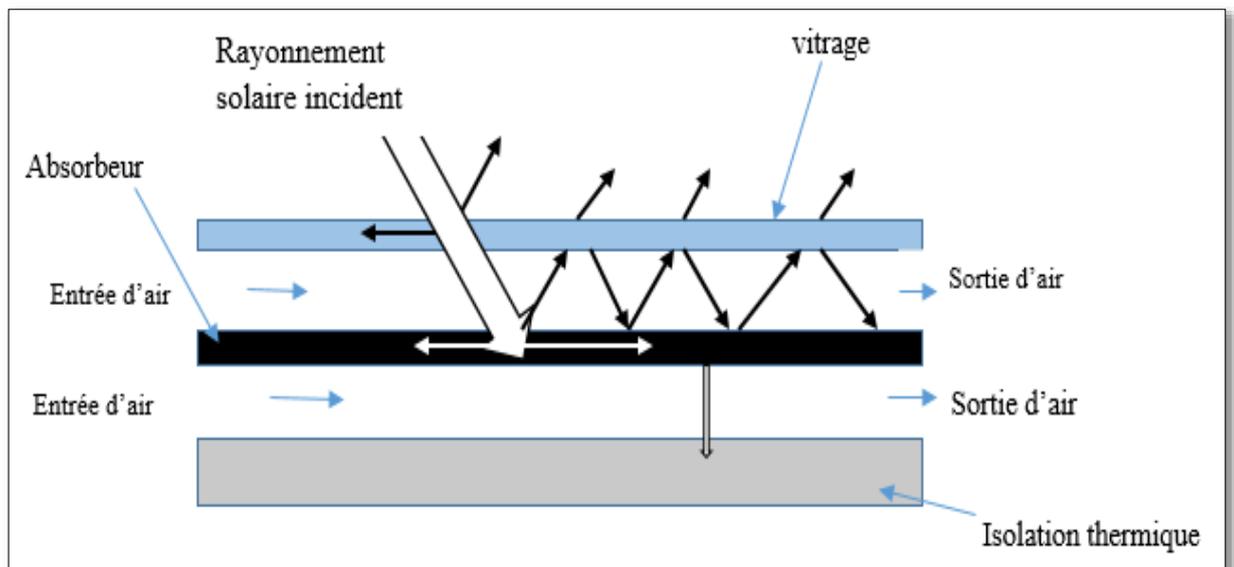


Figure III. 1: Principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan à air double passe

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. 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. [30]

III.3 Différents types des capteurs solaires plans thermiques

La technologie sur la conception des dispositifs de conversion de l'énergie solaire thermique a pris une grande ampleur ce dernier temps. Alors sur ce qui suit, nous allons voir les différents capteurs solaires.

III.3.1 Capteur solaire plan à air

Les capteurs solaires plans à air transforment l'énergie radiante du soleil en énergie thermique extraite par l'air en écoulement dans le capteur. Il existe plusieurs configurations (capteur solaire air simple passe, double passe, etc.)

Ils sont utilisés pour le chauffage direct de l'air, généralement pour le préchauffage de l'air neuf. Ils sont utilisés lorsque la température de fonctionnement doit pas dépassée (70°C), car le rendement baisse fortement avec l'augmentation de la température de l'air caloporteur. L'avantage de ces capteurs se présente dans leur faible coût ainsi que la faible complexité d'installation. Des ailettes sont dessinées dans l'absorbeur pour augmenter le coefficient d'échange convectif entre le fluide caloporteur (l'air) et l'absorbeur.

- **Capteur solaire simple passe :** il est constitué d'un vitrage simple en verre qui réalise l'effet de serre nécessaire pour échauffer l'absorbeur qui est à base de cuivre, d'une couche d'isolation en arrière du capteur, elle permet de meilleures performances thermiques, elle est assurée par du polystyrène. La particularité est qu'il y a un seul passage pour le fluide caloporteur (air).

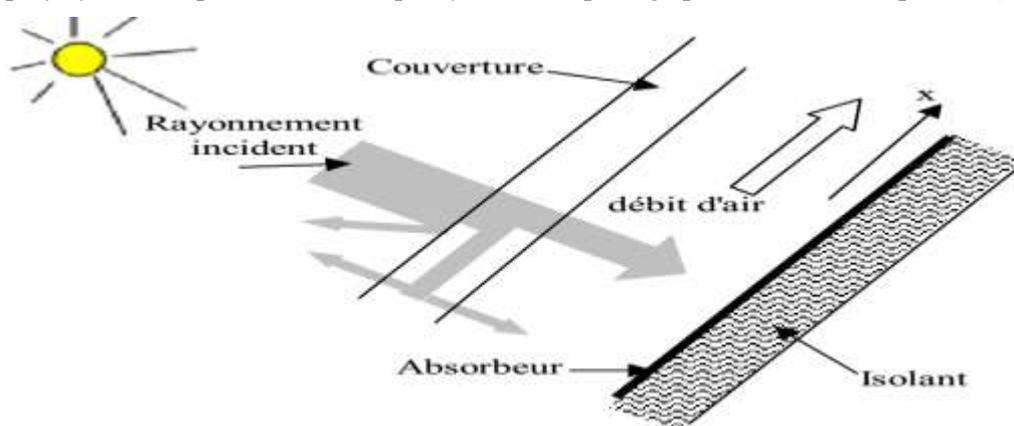


Figure III. 2 Capteur solaire plan simple passe

- **Capteur solaire plan double passe** : les capteurs solaire plan à air double passe fonctionnent même principe que les simple passe, la différence réside au niveau de nombre de passage de fluide caloporteur (air). C'est-à-dire l'élément principal plaque absorbante est placé au milieu et donc premier passe entre la couverture et la plaque et deuxième passe entre la plaque et l'isolant. Ceci permet de d'augmenté l'efficacité du capteur solaire.

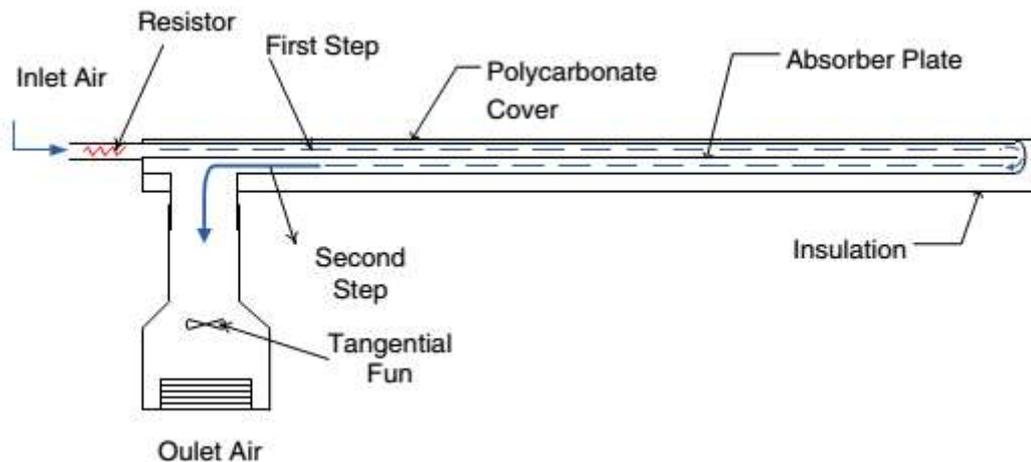


Figure III. 3 Capteur solaire a doublé passe

III.3.2 Capteur plan à eau

Le capteur plan à eau est constitué d'une plaque de verre sous laquelle est situé des tuyaux contenant l'eau et de l'antigel. Ce tuyau repose sur une plaque isolante (isolation thermique) peinte en noir afin d'avoir une absorption de l'énergie solaire maximale. En effet, la couleur noire est la couleur qui absorbe le plus l'énergie solaire (le blanc étant celui qui l'absorbe le moins). Le principe de ce capteur est bien connu par les agriculteurs : c'est le principe de l'effet de serre. Ils s'en servent pour cultiver des plantes sous serres dans les régions froides. Le capteur plan fonctionne donc comme une serre : le rayonnement solaire traverse le vitrage, il est absorbé par le revêtement noir qui s'échauffe, afin de transmet sa chaleur au fluide (eau et antigel). L'antigel est utilisé pour éviter le gel de l'eau pendant l'hiver. Ces capteurs permettent de chauffer un liquide caloporteur (généralement un mélange eau glycol). Ils sont utilisés généralement pour la production d'eau chaude sanitaire. Un absorbeur sélectif, ainsi qu'une vitre en verre technique permettent de garder un bon rendement avec des températures de l'ordre de 80°C.



Figure III. 4 Capteur solaire plan à eau

III.3.3 Capteurs plans à liquide sans vitrage

Les capteurs plans sans vitrage, sont ordinairement fabriqués de plastique polymère noir. Normalement, ils n'ont pas de revêtement sélectif et n'ont ni cadre ni isolation en arrière. Ils sont simplement posés sur un toit ou sur un support en bois. Ces capteurs de faible coût captent bien l'énergie solaire, cependant les pertes thermiques vers l'environnement augmentent rapidement avec la température de l'eau, particulièrement dans les endroits venteux en conséquence. Les capteurs sans vitrage sont couramment utilisés pour des applications demandant une fourniture d'énergie à basse température (piscines, eau d'appoint en pisciculture, chaleur industrielle, etc.), dans les climats froids, ils sont habituellement utilisés exclusivement durant l'été à cause de leurs pertes thermiques élevées. [32]

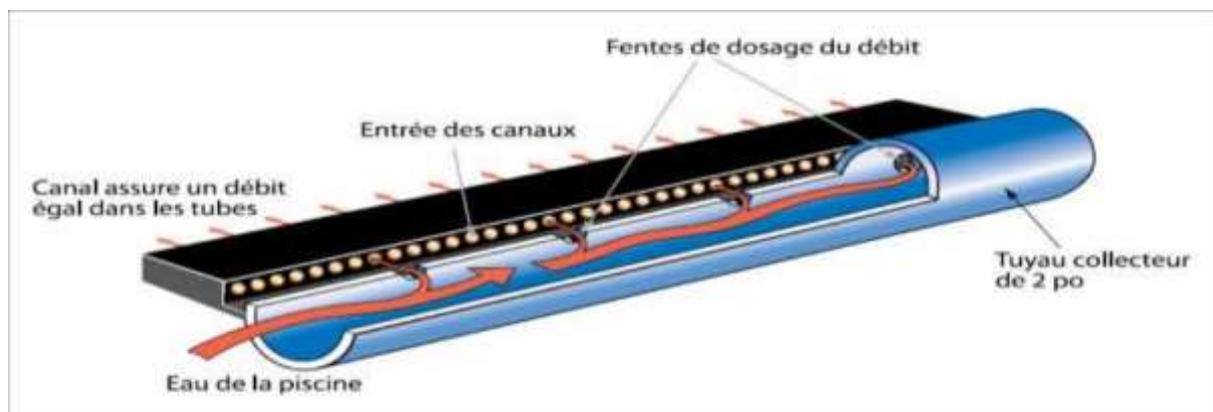


Figure III. 5 Schéma d'un capteur à liquide plan sans vitrage

III.3.4 Capteurs plans à liquide avec vitrage

Dans les capteurs plans à liquide avec vitrage, comme il est montré dans la figure III.5 une plaque absorbante (qui souvent est recouverte d'un revêtement sélectif) est fixée dans un cadre entre un vitrage simple ou double et un panneau isolant placé à l'arrière. L'énergie solaire est ainsi emprisonnée dans le capteur à cause du vitrage (effet de serre). Ces capteurs sont couramment utilisés pour des applications à températures modérées (chauffage de l'eau sanitaire, chauffage de locaux, chauffage de piscines intérieures ouvertes toute l'année et chauffage pour procédés industriels. [33]

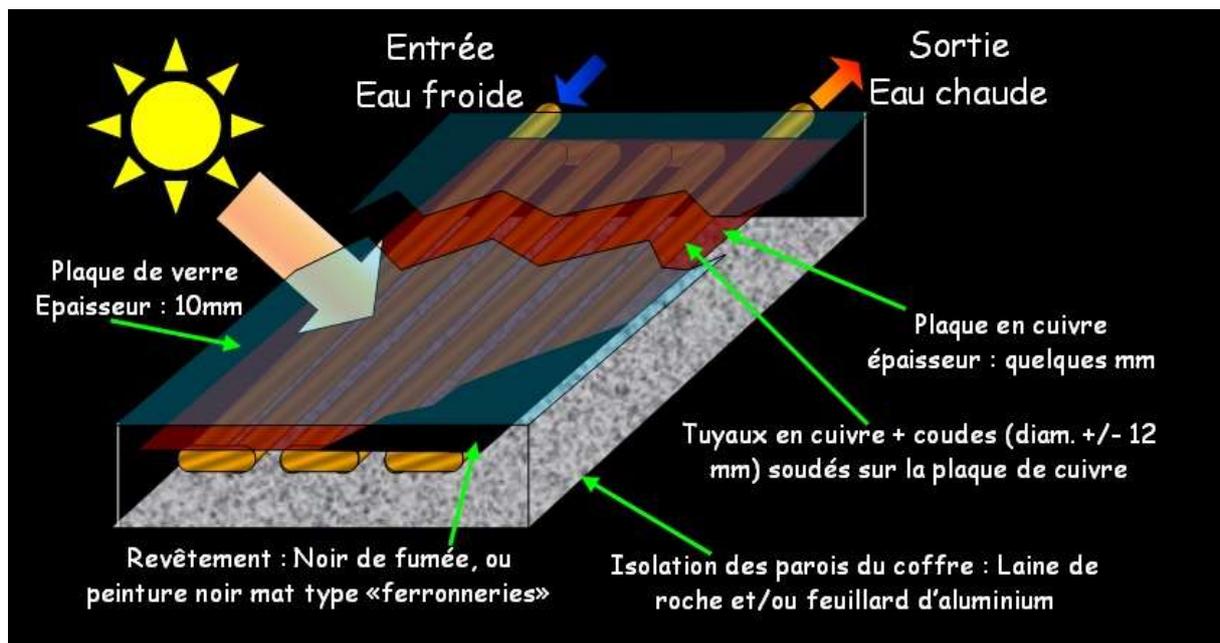


Figure III. 6 Schéma d'un capteur à liquide plan avec vitrage

III.3.5 Capteurs solaires à tubes sous vide

Les capteurs solaires à tubes sous vide, comportent un absorbeur revêtu d'une surface sélective et enfermé sous vide dans un tube en verre. Ils captent bien l'énergie solaire et leurs pertes thermiques vers l'environnement sont extrêmement faibles. Les systèmes présentés sur le marché utilisent un caloduc pour extraire la chaleur de l'absorbeur (un liquide se vaporise au contact de l'absorbeur chaud, la chaleur est récupérée dans la tête du tube lorsque la vapeur s'y condense et le condensat, retourne par gravité à l'absorbeur). Les capteurs sous vide sont bien adaptés aux applications requérant la fourniture d'énergie à des températures moyennes ou hautes (eau chaude domestique, chauffage de locaux et applications de chauffage industriel dans des gammes de températures de 60 °C à 80 °C, selon la température extérieure), en particulier dans les climats froids. [32]

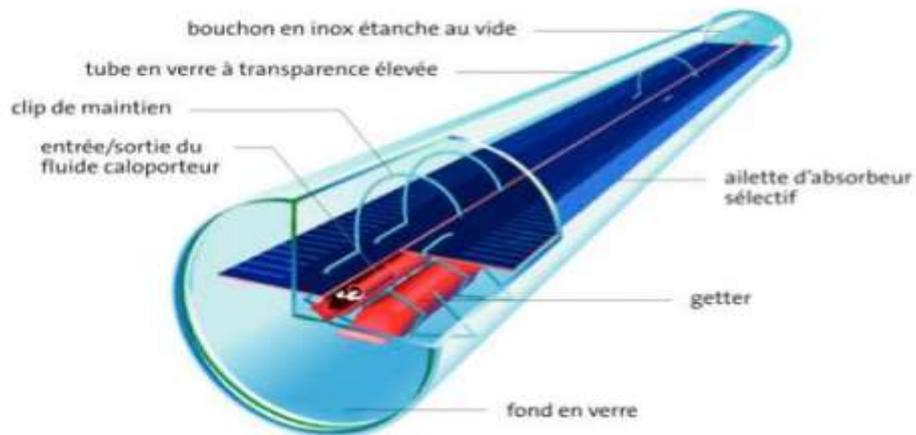


Figure III. 7 Vue en coupe d'un tube d'un capteur à tubes sous vide

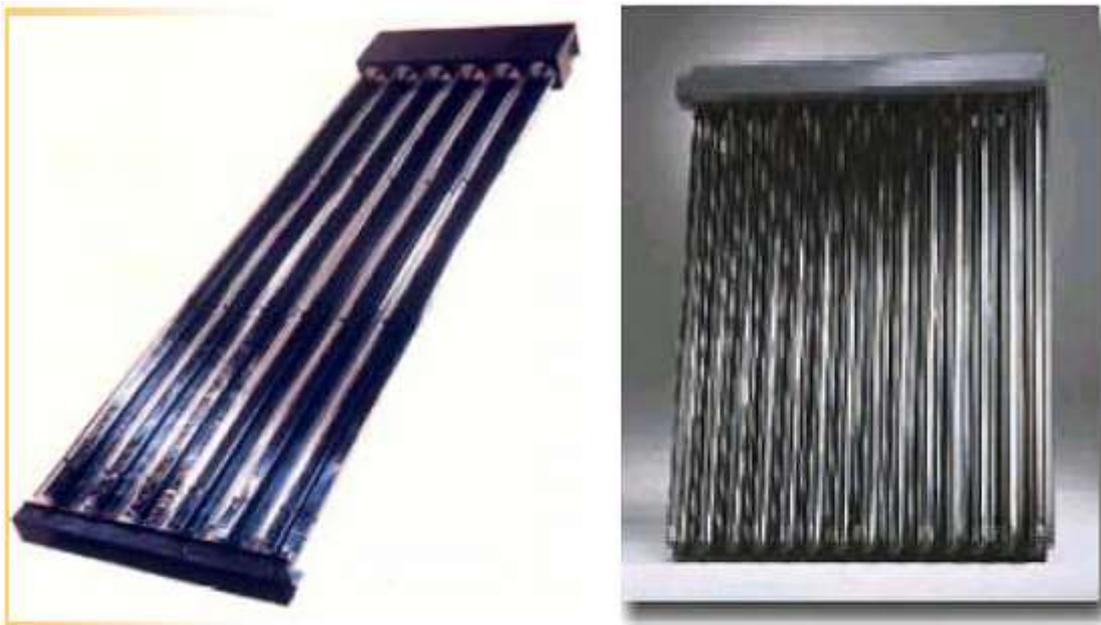


Figure III. 8 Capteurs à tubes sous vide

III.3.6 Capteurs plans non vitrés à revêtement sélectif

Sont des capteurs simples adaptés aux basses températures et peu sensibles à l'angle d'incidence du rayonnement, ils peuvent être utilisés pour le chauffage des piscines et le chauffage de l'eau chaude sanitaire. Leur principe de fonctionnement est présenté sur la figure (III.9). [31]

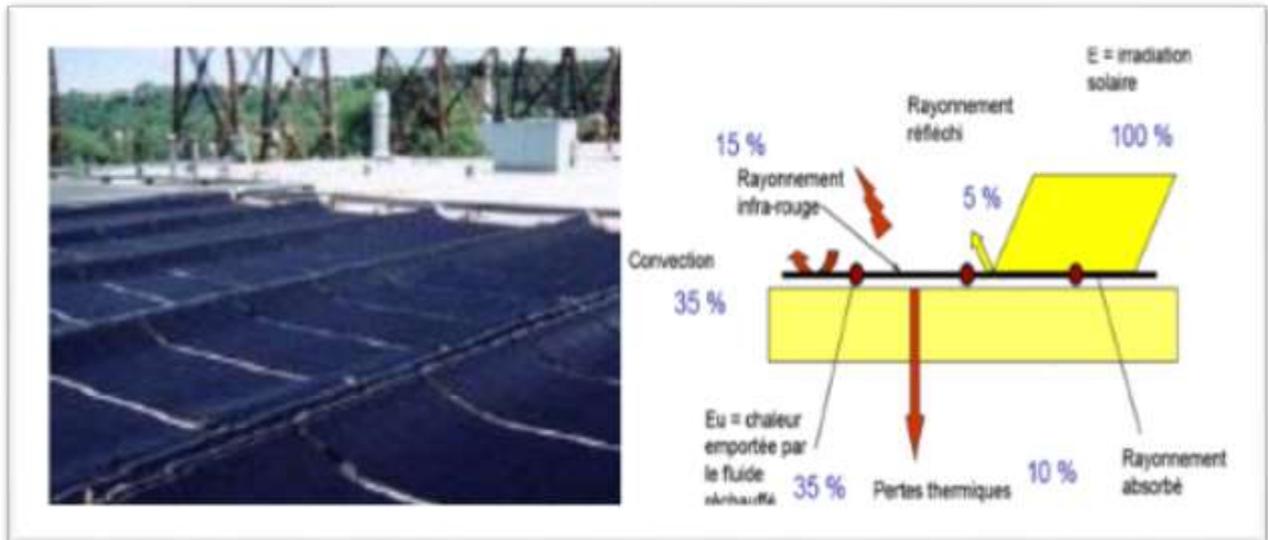


Figure III. 9 Principe de fonctionnement des capteurs solaires non vitrés à revêtement sélectif.

III.4 Paramètres influant sur le fonctionnement d'un capteur solaire

Les capteurs solaires plans sont généralement caractérisés par la couverture, plaque absorbante, l'isolation, fluide caloporteur.

III.4.1 Couverture (vitre)

Pour une installation du système de conversion de rayonnement solaire donnée, plusieurs composants de différents matériaux sont nécessaires pour sa mise en place. Parmi les composants fréquemment utilisés dans la plupart des installations solaires c'est bien la couverture transparente, que ce soit du verre ou du plastique. La particularité de ce composant est sa transparence au rayonnement solaire, de courtes longueurs d'onde (le visible et le proche de l'infrarouge), et son opacité aux rayonnements de grandes longueurs d'onde (infrarouge éloigné). Une telle caractéristique s'avère très avantageuse pour accentuer le phénomène "effet de serre" utile dans certaines applications solaires. La couverture doit présenter une bonne résistance aux chocs, aux brusques variations de températures ainsi qu'aux températures élevées. [34]

Une appellation « verre solaire » existe et fait l'objet d'exigences toutes particulières :

- le verre doit être trempé pour résister sans risques aux charges thermiques et mécaniques.

- Il doit présenter un haut degré de transmission solaire caractérisé par une faible teneur en fer.
- Il doit être doté d'une surface structurée permettant de réduire les reflets directs. La qualité du verre est caractérisée par son rendement optique ou taux de transmission ζ qui dépend de la nature et de l'épaisseur du vitrage ainsi que de l'angle d'incidence i et de la nature du rayonnement (direct ou diffus) (valeur habituelle de ζ : 0,91).

Actuellement, un nouveau verre, dit « antireflet », équipe certains capteurs. Ce verre à un taux de transmission de l'ordre de 96% et son effet se marque davantage pour le placement de capteurs à la verticale. [31]

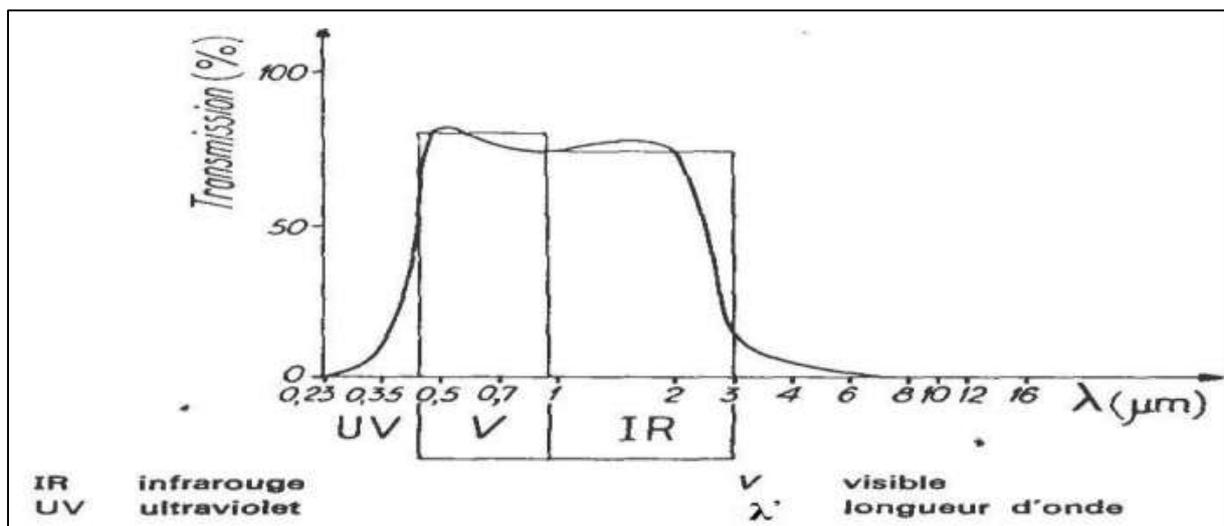


Figure III. 10 Transparence du verre

III.4.2 Absorbeur

L'absorbeur est l'élément centrale du capteur solaire, il absorbe le rayonnement solaire global de courtes longueurs d'ondes et le convertit en chaleur. 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 la quelle est utilisée dans le cas où un milieu agressif circule directement dans l'absorbeur tel est le cas de l'eau d'une piscine. [33]

C'est généralement un corps noir qui absorbe toutes les rayonnements dans le spectre du visible, de l'ultraviolet et une petite quantité dans l'infrarouge. [22]

Un absorbeur doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Un bon coefficient d'absorptivité ;
- Une bonne conductivité thermique ;
- Une bonne résistance à la corrosion.

Le choix du matériau et le mode de construction a une grande influence sur la qualité du capteur. Du fait de leurs conductivités élevées, les absorbeurs sont généralement en cuivre, en acier ou en aluminium. Les caractéristiques de divers métaux pouvant être utilisés comme absorbeur sont donnés par le tableau III.1

Tableau III. 1 Caractéristiques des matériaux utilisés comme absorbeur

matière	Conductibilité (w/m °c)	Coefficient de dilatation
Aluminium	230	2.38
Cuivre	380	1.65
Zinc	112	2.9
Acier	52	1.15
Inox	16.7	1.15
plastique	0.-0.4	7-20

Pour diminuer les pertes par rayonnement, les absorbeurs sont souvent revêtus d'une couche sélective. Pour la plupart des capteurs, le revêtement sélectif est obtenu à partir de nickel et de chrome. Les modes de revêtements les plus courants sont donnés au tableau.III.2

Tableau III. 2 Revêtements des surfaces d'absorbeur [20]

revêtement	Absorption	émission
Peinture	0.92-0.97	0.95
Chrome noir sur cuivre (sélectif)	0.95	0.41
Chrome noir sur acier (sélectif)	0.91	0.07
Tinox	0.95	0.05

III.4.3 Isolation thermique

Le capteur doit être isolé thermiquement avec des matériaux appropriés. Ceux-ci doivent avoir un faible coefficient de conductivité thermique, afin de limiter les pertes thermiques par conduction à travers les faces postérieures et latérales du capteur plan. L'isolation doit généralement avoir une épaisseur de l'ordre de 5 à 10 cm. Les matières isolantes utilisées sont soit des laines minérales, soit des matières synthétiques (de laine de verre, mousses expansives de polyuréthane ou polystyrène).

Les isolants généralement utilisés sont la laine de verre et les mousses polyuréthanes. Leur épaisseur varie de 4 à 8 cm.

Un bon isolant doit les qualités suivantes :

- une faible conductivité thermique.
- une faible densité (pour une faible inertie thermique)
- la chaleur massique doit être basse.
- une résistance thermique dans l'intervalle des températures de service.

Les propriétés des isolants les plus utilisés sont citées au tableau III.3: [22], [24]

Tableau III. 3 Quelques propriétés des isolants

Isolant	Conductivité thermique à 500 w/m °c max	Température max
Laine de verre	0.041	150
Laine de roche	0.05	150
polyuréthane	0.027	110
polystyrène	0.039	85
Liège expansé	0.042	110

On distingue trois types d'isolants : [32]

❖ **isolants minéraux :**

La laine de verre constituée de fibres de verre très fines, commercialisée sous de nombreuses formes : en plaques, en rouleaux et enrobée dans du plâtre. Sa conductibilité varie entre 0,034Wm-1k-1 à 0°C et 0,053 W/m k à 200°C.

La vermiculite connue aussi sous le nom de mica, dont la conductibilité varie de 0,12 à 0,60 W/m k et qui se présente sous forme de granulés très légers.

❖ **Isolants d'origine végétale :**

Le bois bien sec, sa conductibilité varie entre 0,13 et 0,4 W/m k, ses qualités isolantes peuvent être améliorées, s'il est utilisé sous forme de fibres agglomérées ($\lambda = 0,05 \text{ Wm}^{-1} \text{ k}^{-1}$ à 0,10 W/m k). La sciure de bois ($\lambda = 0,11 \text{ W/m k}$), qui a deux inconvénients: son inflammabilité et sa conductibilité qui ont tendance à augmenter avec la chaleur, ce qui la rend inadéquate pour la calorifugation.

❖ **Isolants organiques :**

Les matières plastiques, sont de mauvaises conductrices de la chaleur. Leurs propriétés isolantes peuvent être améliorées en insufflant un gaz durant l'étape de solidification, ce qui leur donnent la consistance d'une mousse, telle que les mousses phénoliques ($\lambda=0,44 \text{ W/m k}$) et la mousse de chlorure de polyvinyle ($\lambda = 0,033 \text{ W/m k}$).

III.4.4 Orientation et l'inclinaison du capteur

L'influence de l'orientation d'un capteur et de son inclinaison avec l'horizontal est due au fait que ces deux dernières changent le rayonnement solaire atteignant la surface du capteur. La meilleure orientation du capteur solaire est de l'orienter directement au sud (Huseyin Guderian et Arif Hepbasli (2007)).

L'angle optimum d'inclinaison est appliqué à une variété de systèmes, tels que, les capteurs plans ou paraboliques, les panneaux photovoltaïques, maisons solaires et serres installées dans une position fixe. Cet angle joue un rôle important en augmentant la collection d'énergie par les capteurs solaires. O. Turgut et N. Onur (2008) ont tiré de leur étude expérimentale et numérique tridimensionnelle que, le Nusselt sur la surface des capteurs dépend faiblement de l'angle d'attaque et lorsque ce dernier diminue le taux de transfert thermique augmente.

III.5 Fluides caloporteurs

Le fluide caloporteur est utilisé dans le circuit primaire de capteur solaire a pour rôle de véhiculer la chaleur cédée par l'absorbeur. Les différents fluides doivent avoir une grande capacité calorifique, faible viscosité et coefficient de transfert thermique élevé.

Les fluides caloporteurs plus utilisés sont :

- ✓ L'air: L'air comme agent de transport de calories a un grand avantage par son abondance et sa gratuité, est par l'absence des problèmes de gel et de corrosion ce qui donne au capteur une grande durée de vie est moins de travaux d'entretien.
Mais pour transporter une quantité raisonnable d'énergie il faut utiliser des volumes d'air très importants.
- ✓ L'eau : Un excellent fluide caloporteur pour sa chaleur massique mais le risque de gel pendant les nuits d'hiver et le risque d'ébullition en cas haute température pose des problèmes.

III.6 Modélisation mathématique de bilan thermique

Le principe de modélisation consiste à écrire les bilans énergétiques de chaque élément constituant le capteur ; absorbeur, vitre, isolant et fluide caloporteur. D'après l'analyse de Hottel, Whillier et Biss (méthode globale). Avant tout d'abord, il est nécessaire de considérer certaines hypothèses : [30], [33], [36]

- ✓ Les propriétés physiques et thermiques du fluide caloporteur (air) sont données en fonction de sa température moyenne.
- ✓ L'absorbeur étant en métal (acier, cuivre ou aluminium) de faible épaisseur avec une conductivité très élevée.
- ✓ Les deux faces de la vitre sont à la même température.
- ✓ La température ambiante est la même autour du capteur.
- ✓ La température dans le fluide et dans l'absorbeur ne dépend que de la dimension longitudinale (sens de l'écoulement).
- ✓ Les pertes par rayonnement de la face arrière ainsi les faces latérales du capteur sont négligeables devant les autres modes d'échanges thermiques.
- ✓ La voûte céleste est assimilée a un corps noir pour les radiations à grande longueurs d'onde.
- ✓ La vitesse de l'air est uniforme.

III.6.1 Bilan thermique global de la paroi absorbante [31]

Le bilan thermique au niveau de la paroi absorbante est donné par la relation suivante :

$$\varphi_{sa} = \varphi_p + \varphi_u + \varphi_{st} \quad (w) \quad (III. 1)$$

D'où :

- ☞ φ_{sa} est le Flux solaire absorbé ;
- ☞ φ_p es le Flux perdu par la paroi absorbante
- ☞ φ_u Flux utile transmis au fluide caloporteur
- ☞ φ_{st} Flux stocké dans le capteur qui s'écrit :

$$\varphi_{st} = M_f C_f \frac{\delta T}{\delta t} \quad (w) \quad (III.2)$$

Où :

- ☞ M_f Masse en fluide du capteur définie par : $m_{ici} = M_{fcf}$, i représentant les différents éléments constitutifs du capteur ;
- ☞ T Température moyenne du capteur ;
- ☞ t Temps ;

La puissance absorbée par le capteur s'écrit :

$$\varphi_{sa} = \tau_{cs} \alpha_{ps} G^*_{(i;\gamma)} S \quad (w) \quad (III.3)$$

Où :

- ☞ φ_{sa} Flux solaire absorbé par la surface exposée (W) ;
- ☞ $G^*_{(i;\gamma)}$ Eclairement (densité de flux) solaire incident sur le capteur ($W.m^2$) ;
- ☞ α_{ps} Coefficient d'absorption de la paroi absorbante par rapport au rayonnement solaire ;
- ☞ τ_{cs} Coefficient de transmission de la couverture transparente par rapport au rayonnement solaire ;
- ☞ S Surface de la paroi absorbante.

Dans le cas où le fluide caloporteur ne subit pas de changement d'état, alors le flux utile s'écrit comme suit :

$$\varphi_u = q_{cf} (T_{fs} - T_{fe}) \quad (w) \quad (III.4)$$

Où :

- ☞ q_{cf} Débit calorifique du fluide caloporteur (W/°C) = débit massique x capacités calorifique
- ☞ T_{fs} Température du fluide caloporteur à la sortie de l'absorbeur.
- ☞ T_{fe} Température du fluide caloporteur à l'entrée de l'absorbeur.

Les déperditions thermiques du capteur sont mises sous la forme :

$$\varphi_p = h_p(T_{pm} - T_a) \quad (w) \quad (III.5)$$

D'où :

h_p : Coefficient global de pertes du capteur ;

T_{pm} : Température moyenne de la paroi absorbante ;

T_a : Température de l'air extérieur.

Dans le cas d'un capteur plan, la température moyenne T_{pm} peut en première approximation être calculée par :

$$T_{pm} = \frac{3 * T_{fs} + T_{fe}}{4} + \Delta T \quad (°c) \quad (III.5)$$

ΔT : L'écart de température existait entre la paroi absorbante et le fluide caloporteur.

III.7 Pertes thermiques d'un capteur solaire

Les pertes thermiques au niveau du capteur solaire peuvent avoir lieu par l'intervention des trois modes de transfert thermique: convection, conduction et rayonnement. La convection existe entre le capteur et l'ambiance qui l'entoure c'est les pertes avant et arrière dues au vent et celles qui existent à l'intérieur du capteur entre le fluide caloporteur et l'absorbeur, la plaque isolante, la lame d'air immobile et le vitrage. L'échange radiatif s'effectue entre la vitre et la voûte céleste, la vitre et l'absorbeur, et enfin entre le capteur et le sol (l'albédo). La conduction est dominante au niveau des pertes arrière à travers l'isolation qui est modélisée comme une couche multiple. [30], [17]

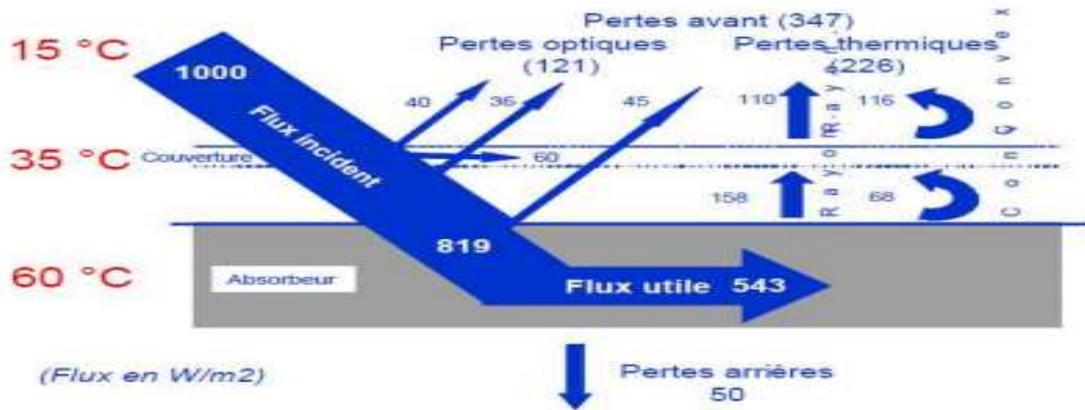


Figure III. 11 Bilan thermique d'un capteur solaire plan vitré

III.7.1 Pertes vers l'avant du capteur

Les différentes pertes vers l'avant du capteur solaire plan :

- Convection entre absorbeur et vitrage ;
- Convection entre vitrage et ambiant ;
- Rayonnement entre absorbeur et vitrage ;
- Rayonnement entre vitrage et voûte céleste (ciel);

III.7.2 Pertes l'arrière du capteur

Les pertes vers l'arrière du capteur sont :

- Conduction à travers l'isolant ;
- Convection et rayonnement entre la face extérieure de l'isolant et le milieu ambiant.

III.7.3 Coefficients des pertes thermiques du capteur solaire

III.7.3.1 Coefficient de pertes vers l'avant :

On définit le coefficient de pertes vers l'avant par U_t . Le U_t peut être calculé par deux méthodes : itérative et par l'équation empirique de Klein.

➤ Méthode itérative

Une 1^{ère} estimation de température inconnue de couverture doit être effectuée, cela permettra de calculer le coefficient de transfert thermique par convection et par rayonnement entre les plaques parallèles. Et de calculer U_t .

En considérant cette valeur de U_t et les équations donnant les pertes de chaleurs, on calcul la nouvelle valeur de température de la couverture. Par suit, les valeurs obtenues doivent être comparée avec l'initiale, alors on reprend l'itération si l'on remarque une grande différence.

D'abord U_t s'écrit de manière suivante :[36]

$$U_t = \left(\frac{1}{h_{p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{h_w + h_{r,c-a}} \right)^{-1} \quad (III.6)$$

$h_{r,p-c}$ Est le coefficient d'échange par rayonnement entre l'absorbeur et la couverture.il donné par l'expression suivante :

$$h_{r,p-c} = \frac{\sigma(T_p^2 - T_c^2)(T_p - T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad (III.7)$$

D'où, ε_p et ε_c représente respectivement l'émissivité de l'absorbeur et du vitrage.

Le coefficient d'échange thermique par rayonnement entre le vitrage et la voûte céleste T_s , est donné par :

$$h_{r,c-a} = \frac{\varepsilon_c \sigma (T_c + T_s)(T_c^2 + T_s^2)(T_c - T_s)}{T_c - T_a} \quad (III.8)$$

➤ Méthode de Klein

L'équation empirique donnée par Klein pour calculer directement le coefficient de perte thermique vers l'avant est :

$$U_t = \left[\frac{N}{\frac{c}{T_{p,m}} \left[\frac{T_{p,m} - T_a}{N + f} \right]^e} + \frac{1}{h_w} \right]^{-1} + \frac{\sigma(T_{p,m} + T_a)(T_{p,m}^2 + T_a^2)}{(\varepsilon_p + 0.00591N * h_w)^{-1} + \left(\frac{2N + f - 1 + 0.133\varepsilon_p}{\varepsilon_g} \right) - N} \quad (III.8)$$

D'où :

N : nombre de couverture,

f : $(1+0.089*h_w - 0.1166*h_w*\varepsilon_p) (1+0.07860*N)$;

$c = 520*(1-0.000051*\beta^2) \rightarrow 0^\circ\text{c} < \beta \leq 70^\circ\text{c}$,

Et pour $70^\circ\text{c} < \beta < 90^\circ\text{c}$, prendre $\beta = 70^\circ\text{c}$.

$\beta = i$: angle d'incidence du capteur (degré)

ε_p : Émittance du vitrage ;

ε_p : Émittance de l'absorbeur

T_a : température ambiante (k)

T_{pm} : température moyenne de l'absorbeur ;

h_w : coefficient du transfert thermique du vent.

III.7.1.1 Coefficient de pertes thermique vers l'arrière

$$U_b = \frac{\lambda_{isol}}{e_{isol}} \quad (III.10)$$

III.7.1.2 Coefficient de pertes latérales

Dans la pratique, la relation des pertes latérales par unité de surface est :

$$U_{lat} = \frac{\lambda_{i,lat} e_b P_b}{e_{lat} S} \quad (III.11)$$

$\lambda_{i,lat}$: Conductivité thermique de l'isolant latéral.

e_b : Épaisseur du boîtier

P_b : Périmètre du boîtier.

e_{lat} : Épaisseur de l'isolant latéral.

L'unité de coefficient pertes thermique (la conductance thermique) est : $w/m^2 \text{ } ^\circ c$

Alors ainsi la conductance globale s'écrit : $U_{globale} = U_t + U_b + U_{lat}$

III.8 Rendement thermique du capteur

Le rendement global du capteur est défini comme étant le quotient de la puissance utile sur la puissance incidente :

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{G_n S_c} \quad (III.12)$$

D'où G_n : flux incident,

S_c : Surface de captation.

❖ **Rendement optique**

Nous pouvons aussi définir un autre rendement dit optique dont il représente le rapport entre la puissance reçue par la plaque et la puissance incidente :

$$\eta_o = \frac{Q_a}{G_n S_c} \quad (III.13)$$

Conclusion

En global, nous avons décrit dans ce chapitre les différents types de collecteurs solaires, leurs modes fonctionnement, leurs caractéristiques thermiques et physico-chimiques des matériaux qui les constituent et les fluides caloporteurs utilisés. En plus, il contient également les équations mathématiques nécessaires pour les pertes thermique départ et d'autre.

Chapitre IV : Étude expérimentale

IV.1 Introduction

De nos jours, le plus grand objectif des chercheurs thermiciens c'est de trouver une meilleure configuration efficace et rentable des dispositifs (capteur solaire plan à air, à eau...) qui transforment le rayonnement solaire en une énergie thermique. Parmi ces derniers, le capteur solaire plan à air est jugé nécessaire dans cette étude.

Cette étude expérimentale a pour but de réaliser un capteur solaire plan à air double passe en premier lieu et double passe avec recyclage en second lieu, tous les deux cas fonctionnent en régime naturel.

Ce travail est effectué sur la plate-forme de l'atelier de travaux mécaniques du site de l'Unité de Recherche des Énergies Renouvelables en Milieu Saharien (UREMS) de la wilaya d'Adrar. Les paramètres qui caractérisent la situation géographique du site sont :

- Latitude de **27,88°** degré
- Longitude de **(-0.17°)** degré ;
- Altitude de **264 m** ;
- Albédo de **0.35**

Ce pendant l'idée pratique de ce travail est de minimiser les pertes thermiques vers l'extérieur par une bonne isolation, par une bonne isolation afin d'avoir la meilleure absorption au niveau de la plaque et donc un bon coefficient d'échange thermique avec le fluide caloporteur (air). Comparer les veines d'air entre le vitrage-absorbeur et entre absorbeur-isolant et cela avec un écoulement naturel.

IV.2 Réalisation du capteur solaire plan à air double-passe

Le dispositif étudié est un capteur solaire plan à air double-passe; pour ce faire, nous avons deux configurations différentes : la première configuration est un capteur solaire plan double passe avec deux entrées et deux sorties, et la deuxième c'est un capteur solaire plan double passe avec une seule entrée et une seule sortie, c'est-à-dire avec recirculation d'air sans l'intervention d'une quelconque énergie artificielle (convection forcée) soit en régime naturel.

IV.2.1 Constitution du dispositif

Le capteur solaire est constitué comme suit :

- ♣ Une caisse en métal de 195*87.3*3.5 cm dans laquelle étaler le polystyrène de l'isolation ;
- ♣ Une vitre transparente considérée comme couverture pour la création de l'effet de serre ;
- ♣ Une plaque métallique mince, en acier inox peinte en noir utilisé en guise de plaque absorbante qui absorbe de la chaleur et transmet cette dernière vers le fluide caloporteur ;
- ♣ Les veines d'air dynamique d'une hauteur 2 cm entre vitre-absorbeur et 2 cm entre l'absorbeur-isolant
- ♣ L'isolation vers l'arrière est assurée par le revêtement du polyuréthane dans le boîtier.

IV.2.2 Description du fonctionnement

Le mode de fonctionnement est très simple, le rayonnement solaire incident arrive directement sur la couverture transparente et la grande partie de ce rayonnement est transmis vers l'absorbeur qui le transforme en chaleur. Ceci est par conséquent possible en vertu des différents modes de transmissions, la conduction, la convection et le rayonnement.

IV.2.3 Paramètres et caractéristiques du capteur solaire

Les paramètres et les propriétés physiques qui caractérisent le capteur solaire sont les dimensions, les unités, les comportements thermochimiques, thermomécanique et la nature de des différents matériaux qui constituent ce dispositif. Voir tableau ci-dessous :

Tableau IV 1 les caractéristiques du capteur solaire

Désignation	nature	Conductivité thermique (W/m k)	Dimensions (m)
Boitier (coffre)	Acier isolé	-	-épaisseur : 0,035 -largeur : 0,873 -longueur : 1,95
Couverture	1 Vitre	0.0263	- épaisseur : 0,004 -largeur : 84 -longueur : 1,94
Absorbeur	Tôle en acier inox	$\lambda = 16.7$	- épaisseur : 0,0052 -largeur : 0,85 -longueur : 1,94
Matière isolant	Mousse polyuréthane	$\lambda = 0.027$	Épaisseur : 0.035
Conduit de veine d'air	Canal rectangulaire	-	-hauteur : 0.02

IV.2.4 Équipements pour la réalisation

Avant tout, il faut rassembler tous les matériels nécessaires pour ce travail. Ce pendant les équipements servis pour cette réalisation sont entre autre les scies de coupage, le mètre, les colles, le souffleur, la peau de chameau, ainsi d'autres outils nécessaire ; voir la figure ci-après :



Figure IV 1 Outils utilisés pendant la réalisation

IV.2.5 Montage du capteur solaire

Le montage consiste à relier les différentes parties matérielles du capteur solaire qui sont nécessaires pour la finition. Cependant, avant de commencer le revêtement du prototype tous les éléments matériels et les équipements doivent être bien nettoyés. Pour mieux expliquer ces étapes nous avons inséré quelques images en photos de ce travail sous forme de diaporama ci-dessous :

IV.2.5.1 Préparation de la caisse

Autrement appelé coffre, c'est l'élément principal du collecteur solaire, dans lequel seront portés les éléments nécessaires de réchauffement de l'air en l'occurrence, le vitrage; l'absorbeur ; les isolants. Donc, cette caisse est bien préparée pour revêtir le matériau isolant. L'isolant est un polystyrène pour la meilleure isolation thermique qui minimise les pertes vers le bas ainsi que les pertes latérales. Cette dernière est illustrée par la figure V.2



Figure IV 2 Préparation de la caisse

IV.2.5.2 Préparation de la plaque absorbante

Cette plaque est un acier inox découpée selon les mesures de la conception 194*85 cm, peinte en noir avant d'être teintée avec la poudre noire ; cette dernière a pour rôle de minimiser le rayonnement diffus par suite la plaque peut absorber le maximum du rayonnement. (Voir la figureIV.3)



Figure IV 3 Préparation et la pigmentation de la plaque absorbante

Emplacement de la plaque absorbante :

Le mastic est un matériau permettant de coller les petits espaces pour assurer l'étanchéité et éviter les pertes.

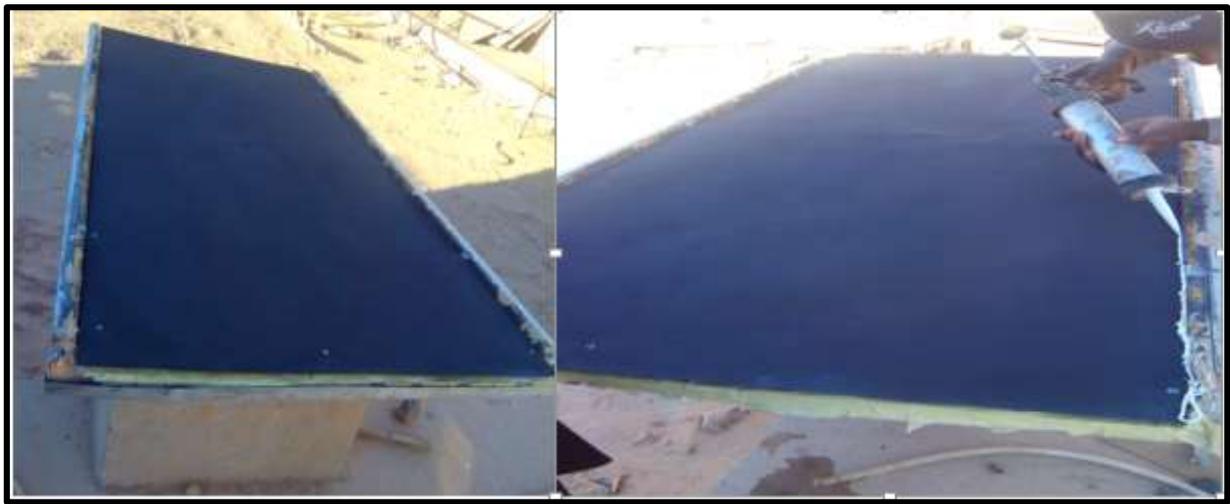


Figure IV 4 Placement de la plaque absorbante avec le mastic

Placement des thermocouples sur l'absorbeur :

Pour celui, nous avons placé deux thermocouples, un au milieu de la moitié vers le haut et aussi un milieu de la moitié vers le bas.



Figure IV 5 Placement de thermocouple sur l'absorbeur

IV.2.5.3 placement de la couverture

La couverture est une vitre illustrée par la figure.V.7, elle est responsable de création de l'effet de serre. Il y a un thermocouple sur chaque moitié.



Figure IV 6 Placements de thermocouples et les deux moitiés des vitres

La photo ci-dessous représente le capteur solaire plan double passe à air près a l'emploi



Figure IV 7. Montage du capteur

IV.2.6 Fixation des capteurs solaires dans le support

Après avoir terminé la phase de revêtement, les étapes qui suivent sont le positionnement et la fixation du deux capteur.

Les capteurs sont fixés, orientés vers le sud avec un angle d'inclinaison de 56.09° , c'est la meilleure inclinaison pour cette saison d'hiver (janvier, février) à Adrar.

Pour ce faire, on doit se baser sur les paramètres et coordonnées géographiques du site donné par le catalogue de l'URER.MS

- ✓ La latitude : sa valeur est de **$27,88^\circ$** Nord ;
- ✓ La longitude : sa valeur est (**-0.17°**) ouest ;
- ✓ L'altitude : **264 m** ;
- ✓ L'albédo : sa valeur indiquée par l'équipe de gisement solaire de SEES.MS est de **0,35**

Il faut noter que l'installation et expérimentation. Se fait avec deux capteurs solaires :

- Le premier est un capteur solaire plan double passe réaliser par moi-même avec l'assistance de mon Co-encadreur ;
- Le second est un capteur simple passe déjà existant qui a les même caractéristiques que le premier.

V.2.6.1 Préparation de support de fixation



Figure IV 8. Support de fixation du capteur solaire plan

L'installation est représentée par la figure.V.9

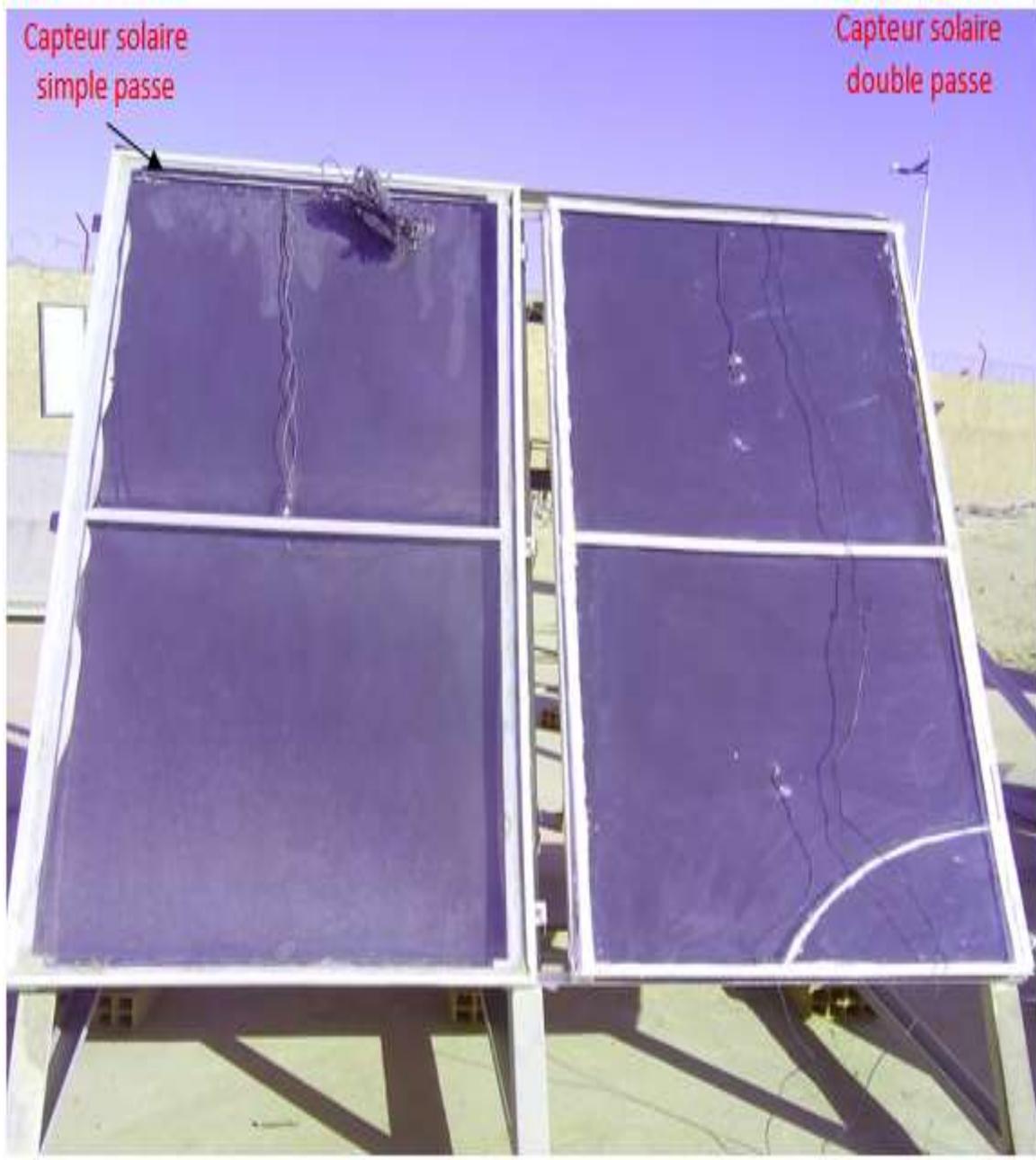


Figure IV 9. Fixation de deux capteurs sur le support

IV.2.7 Instruments de mesures

IV.2.7.1 Thermocouples

Les thermocouples sont des matériaux dont l'effet Seebeck est utilisé pour la mesure de température. Les thermocouples utilisés sont de type K

Dans cette installation, il était nécessaire de placer suffisamment de thermocouples à l'entrée et à la sortie du fluide ainsi que sur la plaque absorbante et au niveau de la couverture dans les deux capteurs pour la mesure des températures.

IV.2.7.2 Le pyranomètre

Le pyranomètre est un capteur de flux thermique utilisé pour la mesure de quantité d'énergie solaire. Le rayonnement solaire incident à la surface du capteur à l'aide de pyranomètre de type (kypp & zonen) de seconde classe, placé en parallèle vers les parties supérieur du capteur. Voir figure 10

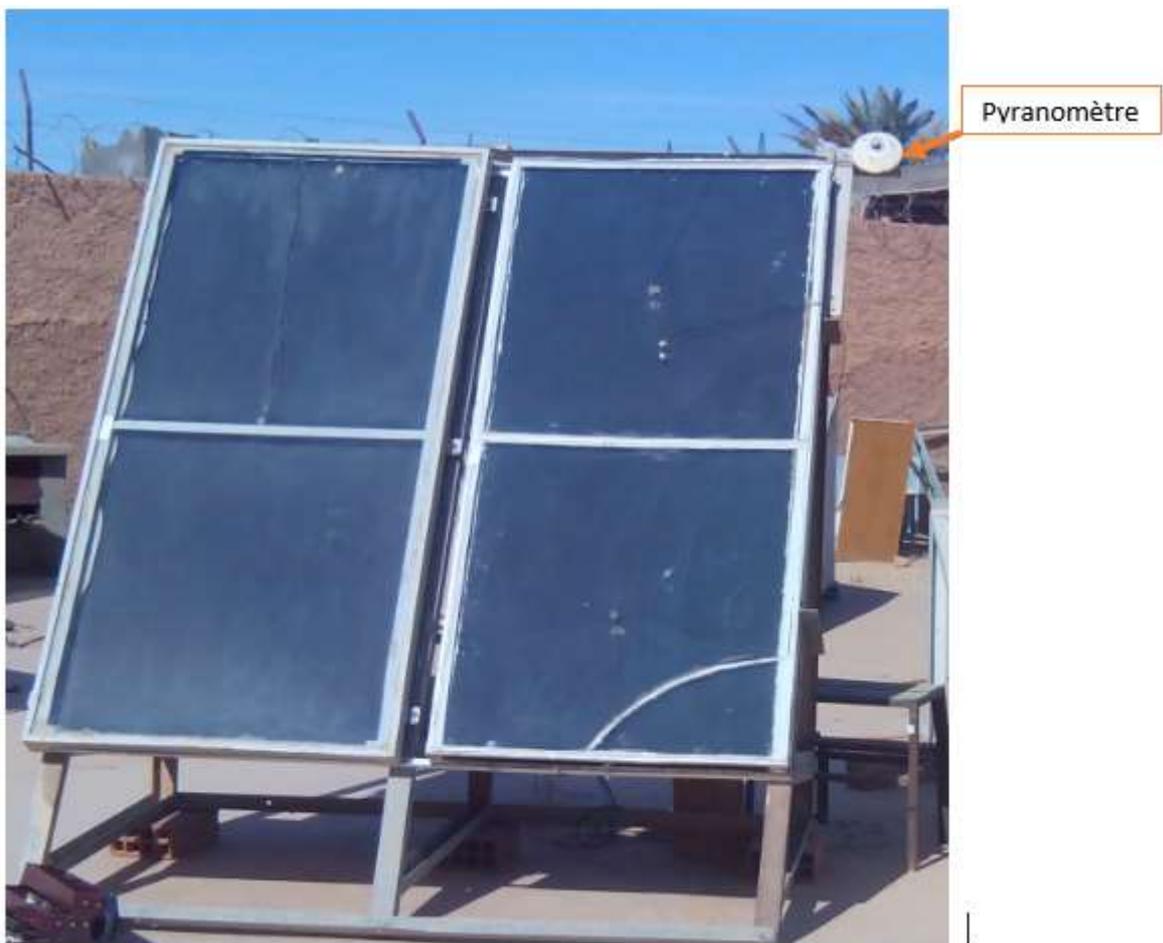


Figure IV 10 Emplacement du pyranomètre sur le capteur

IV.2.7.3 L'acquisition de donnée

Une acquisition de données est un système électronique permettant d'exploiter des grandeurs physique. L'appareil est de marque **FLUKE 2625** comporte une carte mémoire interne permettant de stocker les données acquises, elle enregistre ainsi les valeurs provenant des thermocouples et celle des pyranomètre et les transmet à son tour vers l'ordinateur.

Par conséquent, les 12 thermocouples pour la mesure des températures, et celle des flux solaire des pyranomètre sont introduites dans un module de vingt (20) ports. Le système d'acquisition de données est illustré par la figureIV.11



Figure IV 11. Appareil "acquisition de données" avec raccordement de différents thermocouples

Conclusion

En effet, cette partie expérimentale est marquée par le modeste travail de réalisation du capteur solaire plan à air double passe sans et avec recyclage. Sa réalisation et son installation a duré pratiquement deux semaines. Ceci nous permettra cependant les résultats escomptés.

Chapitre V : Résultats et Discussions

V.1 Introduction

Ce présent chapitre comprend les résultats des expériences faites sur les différentes configurations de capteurs solaires plans à air, en vue de pouvoir estimer l'efficacité du capteur. Pour ce faire, les résultats exploités proviennent des tests effectués sur les dispositifs réalisés.

Le premier est un capteur simple passe et le deuxième est un capteur double passe avec deux configurations différentes à savoir :

- Double passe avec deux entrées de fluide et avec deux sorties
- Double passe avec une seule entrée et une seule sortie c'est à dire avec recirculation d'air

A noté aussi que toutes les expériences sont faites avec un écoulement en convection naturelle.

Ces tests sont réalisés sur un intervalle de temps bien régulier de saison hivernal de 24/01/2016 à 08/02/2016. Le déroulement des tests se déroulé de 09h00 à 19h00 quotidiennement durant 6 jours pour le capteur simple passe et double passe sans recirculation et pour une journée pour le csp avec recirculation d'air.

Les paramètres considérés durant nos tests expérimentaux sont les suivantes :

- Le rayonnement incident ;
- Les températures à l'entrée de chaque csp ;
- Les températures à la sortie de chaque csp ;
- la température du vitrage et de la plaque absorbante.

Ces données sont traitées et présentés graphiquement en fonction du temps avec logiciel originePro 8. Illustré par la figure ci-dessous.



Figure V. 1 Illustration du logiciel utilisé pour le traitement de données

Le tableau des abréviations ci-dessous représente les notations des températures et le rayonnement utilisé lors de nos expériences.

Tableau V. 1 Notation de thermocouples

N°	Notation	Significations
1	Tv1	Température de la vitre du capteur double passe
2	Tf1	Température de l'air à l'entrée, entre vitre-Absorbeur du capteur double passe
3	Tf2	Température de l'air à la sortie, entre vitre-Absorbeur du capteur double passe
4	Tp1	Température de la plaque absorbante vers le bas du capteur double passe
5	Tp2	Température de la plaque absorbante vers le haut du capteur double passe
6	Tf4	Température de l'air à l'entrée, entre l'Absorbeur-Isolant du capteur double passe
7	Tf5	Température de l'air à la sortie, entre Absorbeur-Isolant du capteur double passe
8	Tv2	Température de la vitre du capteur simple passe
9	Tfe	Température de l'air à l'entrée, entre vitre-Absorbeur du capteur simple passe
10	Tfs	Température de l'air à la sortie, entre vitre-Absorbeur du capteur simple passe
11	Tpm	Température de la plaque absorbante au milieu du capteur simple passe
12	Tph	Température de la plaque absorbante vers le haut du capteur simple passe
13	G	Rayonnement solaire incident

V.2 Capteurs solaire plan double passe (sans recirculation d'air)

Cette présente section a pour but d'exploiter les résultats obtenus après les tests effectués sur les deux capteurs solaire plan à air simple passe et double passe sans retour d'air pendant la semaine du 24 au 2016 à 30 janvier 2016 avec l'appareil « acquisition de donnée » afin de comparer leurs performances thermique.

V.2.1 Variation du rayonnement incident et les températures du 24/01/2016

Ci-dessous le graphe représentant l'évolution du rayonnement solaire incident pour la ville d'Adrar ; après avoir traité les données enregistrées par le pyranomètre, il est observé une allure régulière et atteint une valeur maximale de (1000 w/m^2) à midi solaire. Sur cette dernière courbe quelques irrégularités dues à la perturbation des conditions climatiques du jour, le ciel est un peu perturbé par le mouvement du vent.

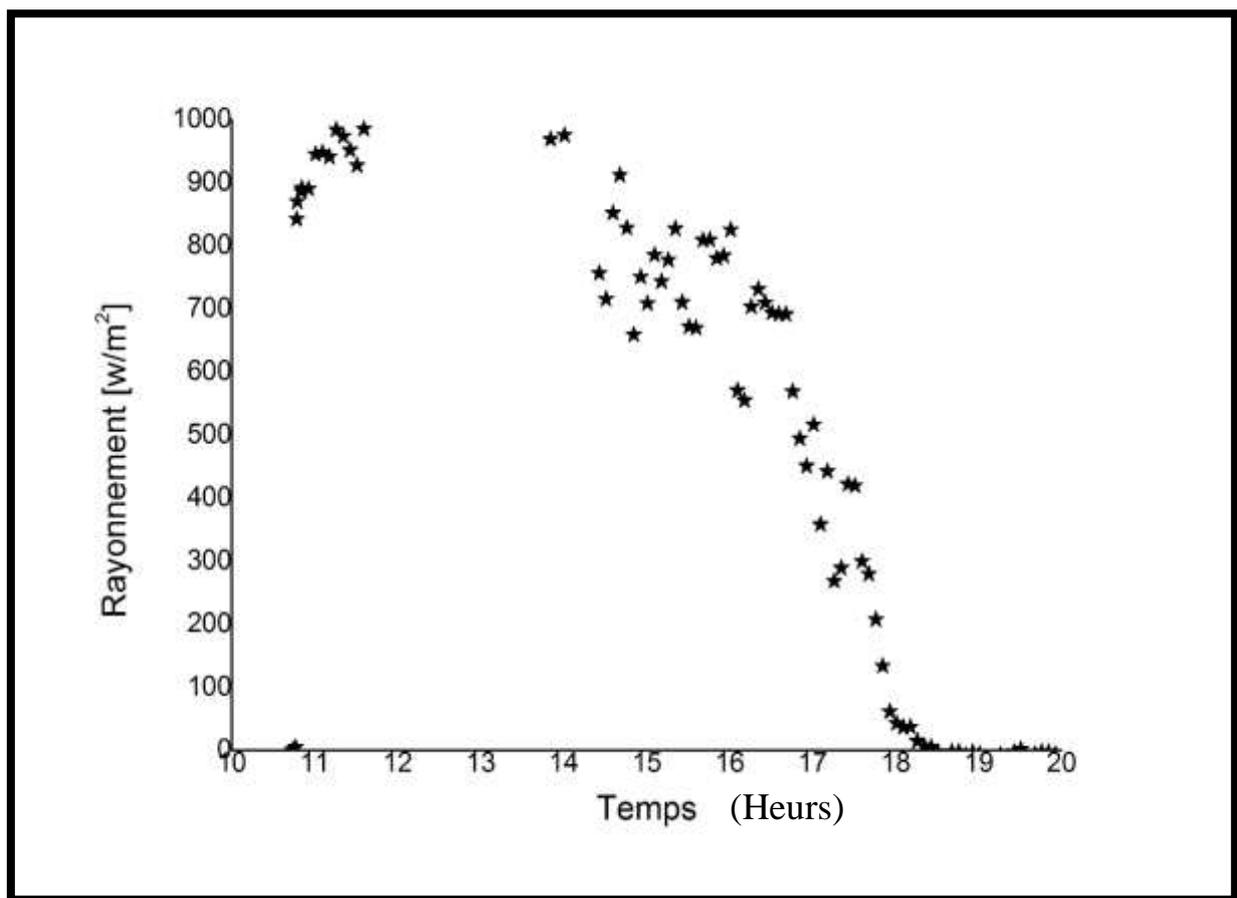


Figure V. 2 Évolution du rayonnement solaire global incliné G pour la journée de 24/01/2016

La variation de température pour la journée de 24/01/2016

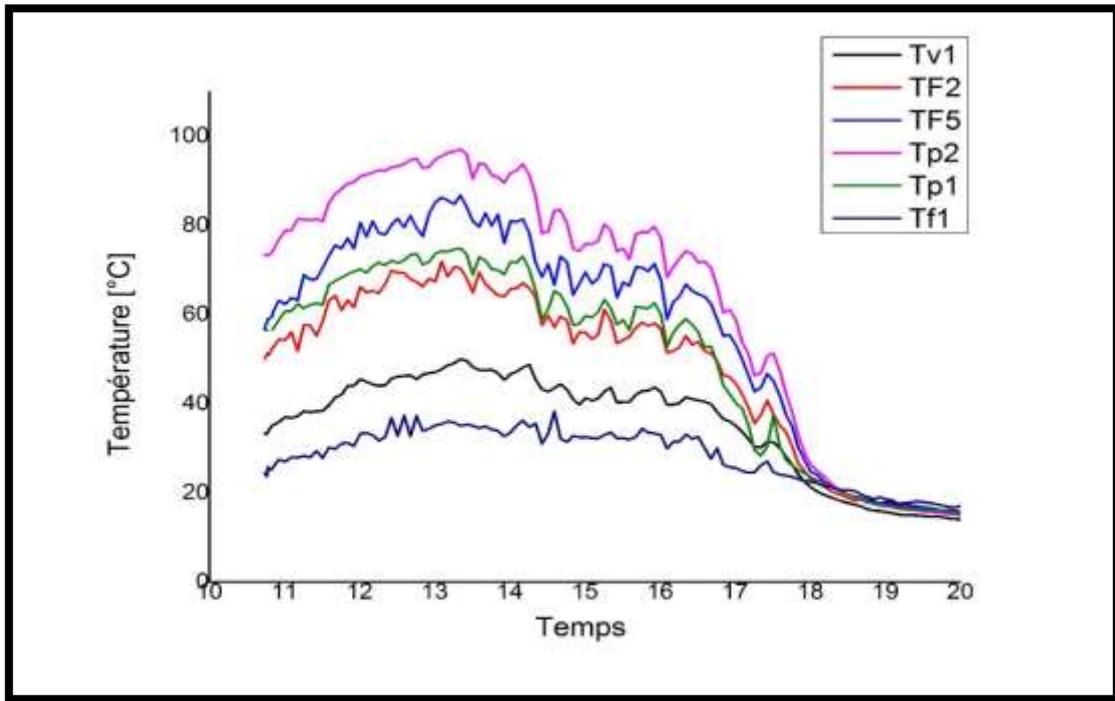


Figure V. 3 Évolution des températures pour le capteur double passe

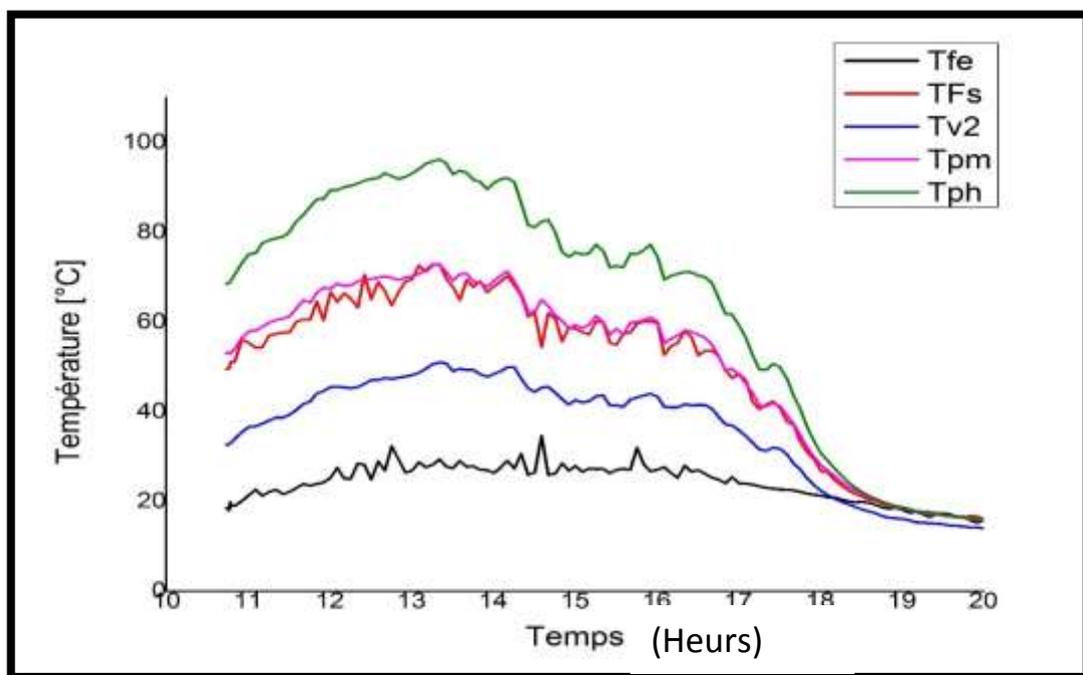


Figure V. 4 Évolution des températures pour le capteur simple passe

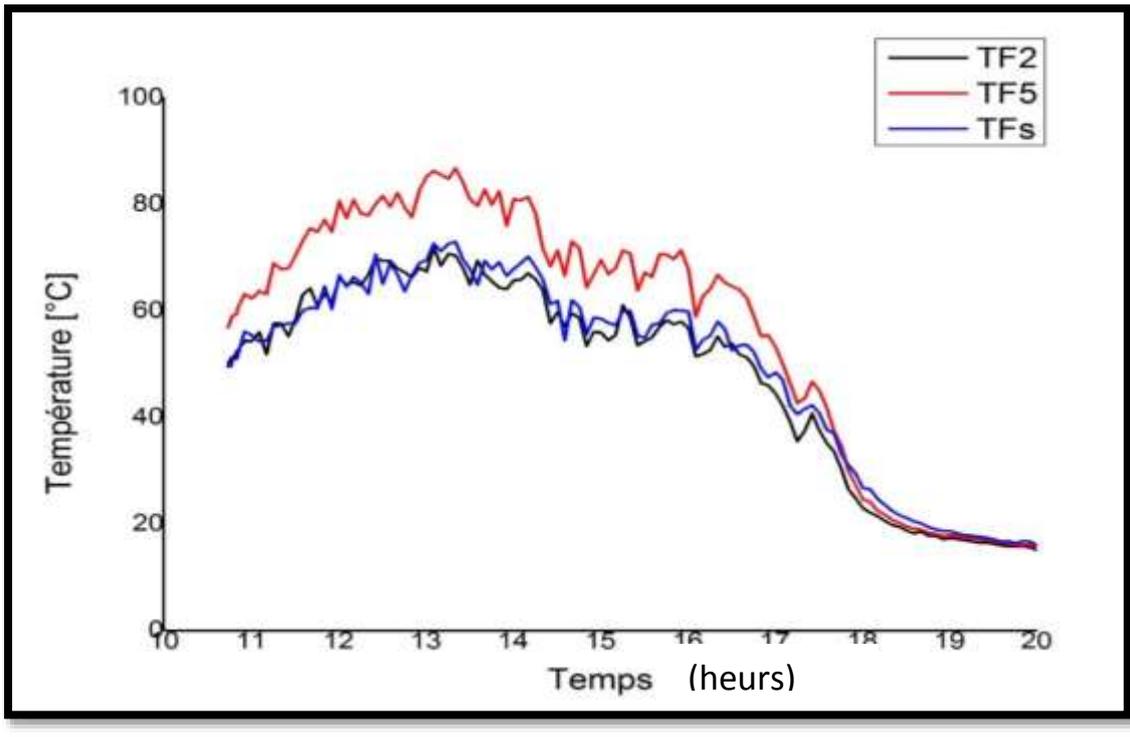


Figure V. 5 Évolution des trois températures de sorties pour les deux capteurs

La variation des températures est représentée par les courbes de la figure ci-dessus. La figureIV.3 et la figureIV.4 représente l'évolution de température enfonctions du temps. Il est remarqué sur l'ensemble des courbes des petites variations sinusoïdales, ceci est dû à la perturbation du climat du jour. La température la plus élevée est celle de la plaque absorbante pour les deux capteurs, cela peut s'expliqué par les performances thermique du capteur car on se rappelle que les deux matériaux ont une bonne conductivité thermique et un bon coefficient d'absorptivité grâce la noir.

Nous remarquons aussi sur la figureIV.5 l'allure des trois températures des sorties qui atteignent une valeur maximale de 75 degré entre la vitre et la plaque absorbante et a peu près 90° entre l'isolant et l'absorbeur pour cette journée.

V.2.2 Graphes représentant la journée de 25/01/2016

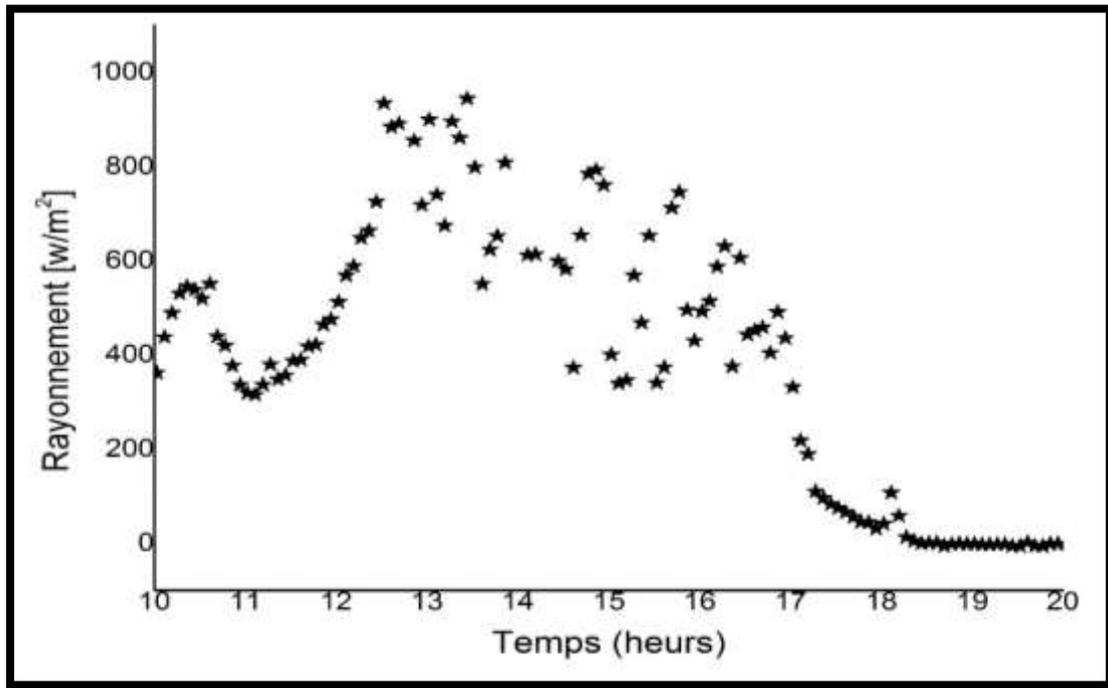


Figure V. 6 Évolution du rayonnement solaire incliné pour la journée de 25/01/2016

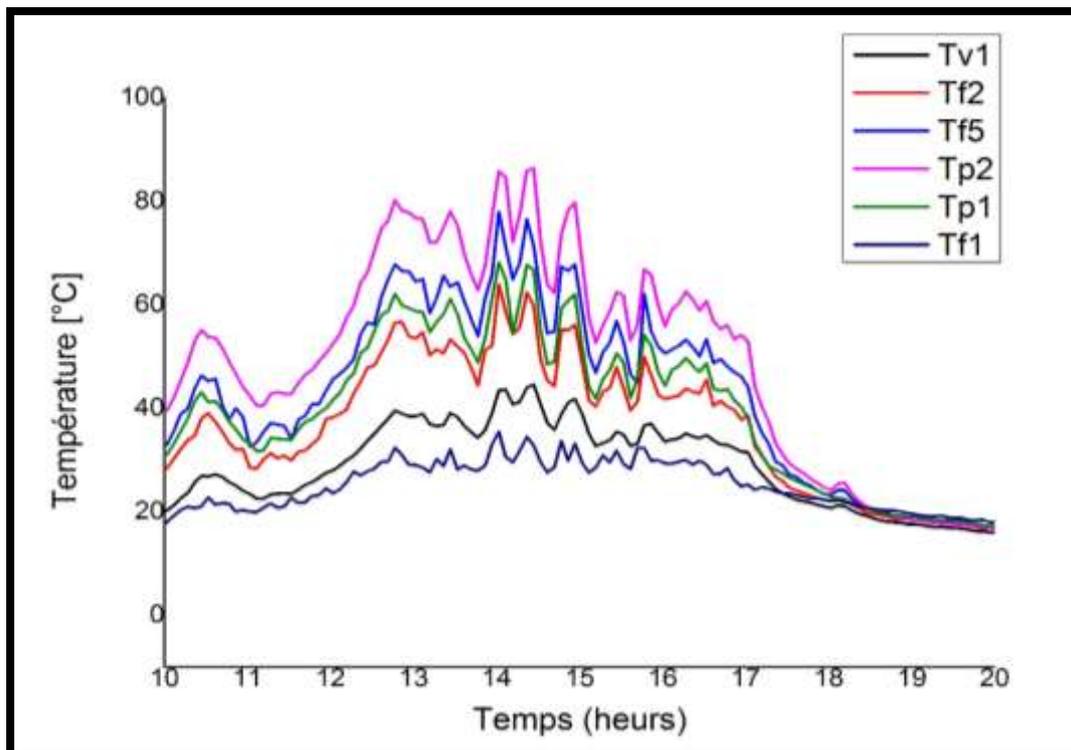


Figure V. 7 Variations des températures du capteur double passe pour la journée de 25/01/2016

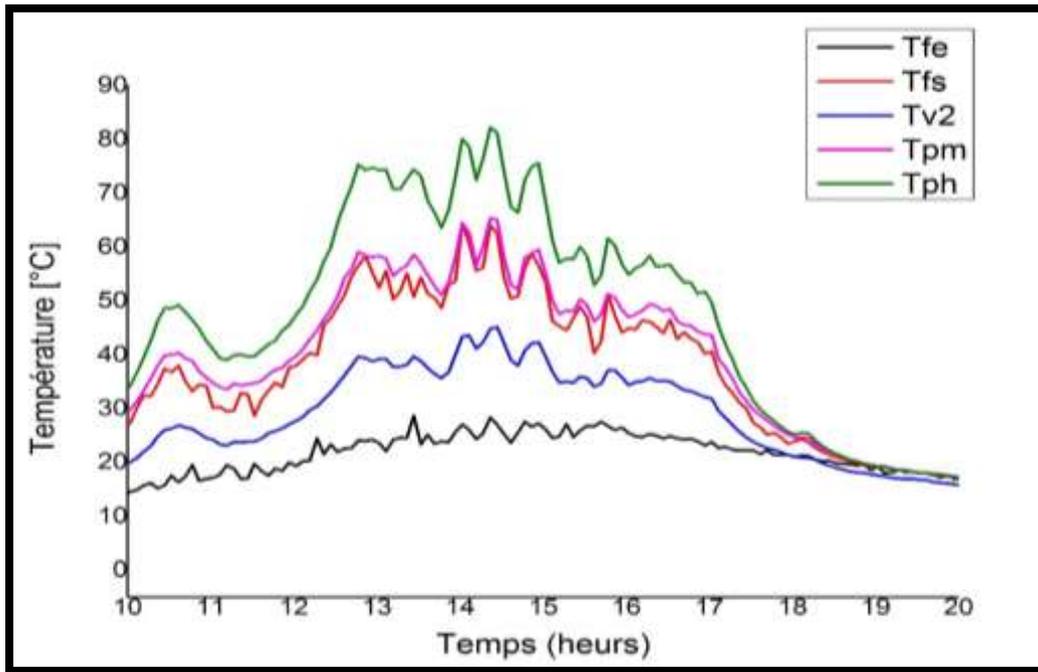


Figure V. 8 Variations des températures du capteur simple passe pour la journée de 25/01/2016

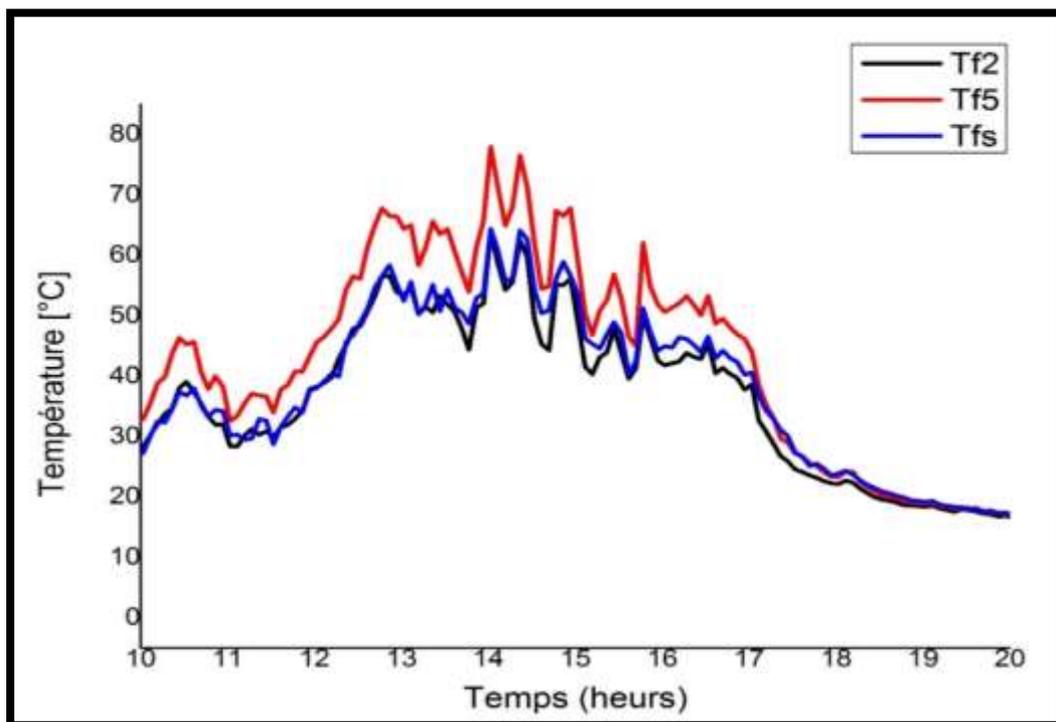


Figure V. 9 Variation de trois températures sorties pour la journée de 25/01/2016

Pour la journée du 25/01/2016 nous avons enregistré des valeurs très faibles de températures et également celui du rayonnement. Mais nous avons une température de sortie de

80°C pour un flux rayonnant de 900 w/m² en cette saison d'hiver elle est avantageuse pour le champ d'application.

V.2.3 Variation des températures et de rayonnement solaire pour la journée de 26 à 30 janvier 2016

Pour ce qui suis, la variation des courbes des températures et du rayonnement de cinq (5) jours (26 ; 27 ; 28 ; 29 ; 30) sont tracés dans le même graphe.

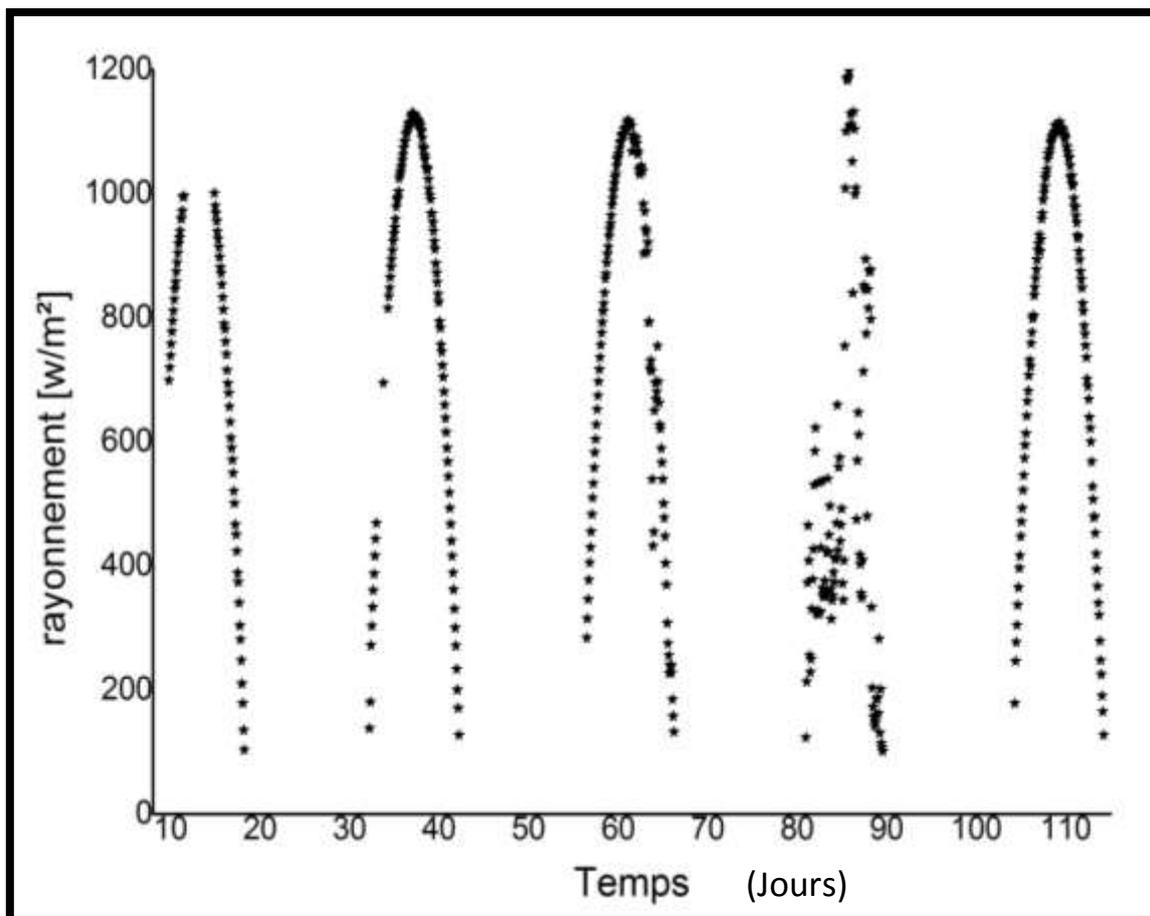


Figure V. 10 Évolution du rayonnement pour les 5 jours du 26 au 30 janvier 2016

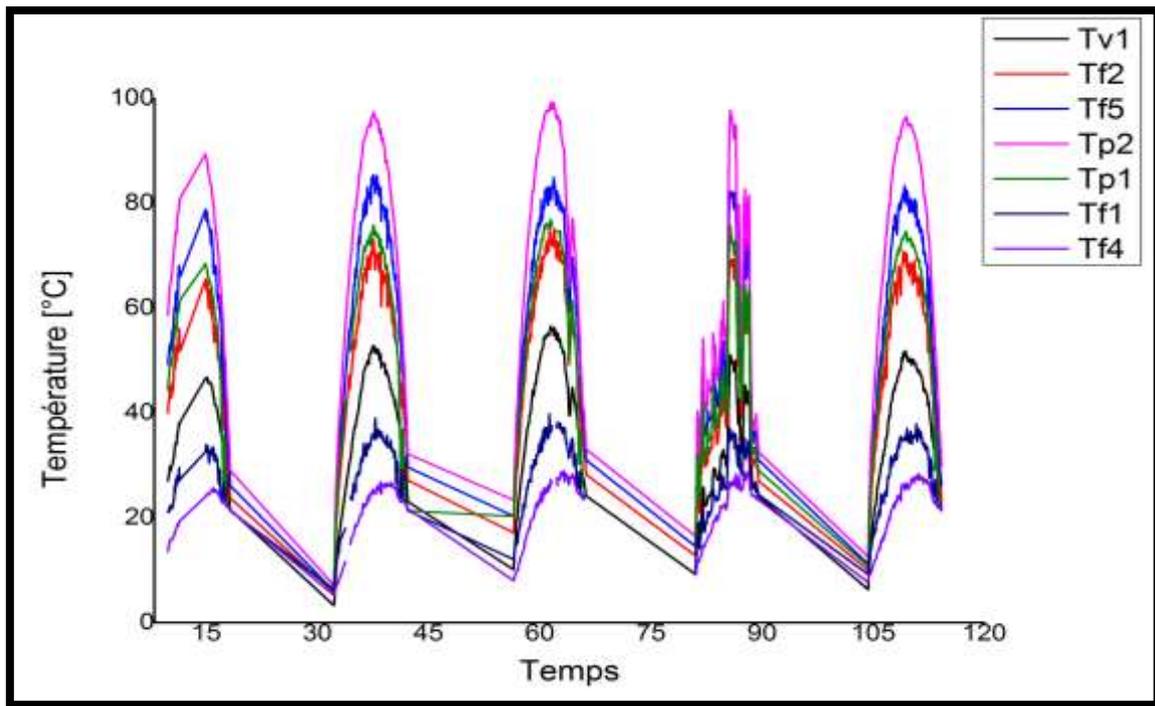


Figure V. 11 Variation des températures du capteur double passe pour les 5 jours du 26 à 30 janvier 2016.

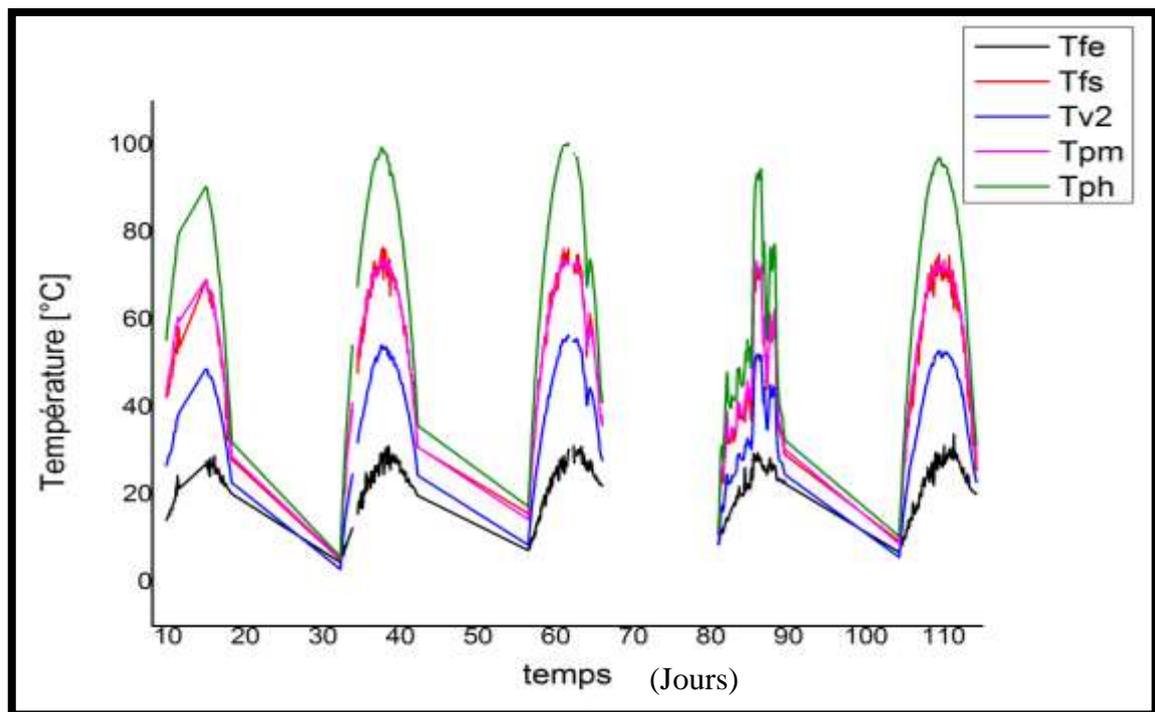


Figure V. 12 Variation des températures du capteur simple passe pour les 5 jours du 26 à 30 janvier 2016

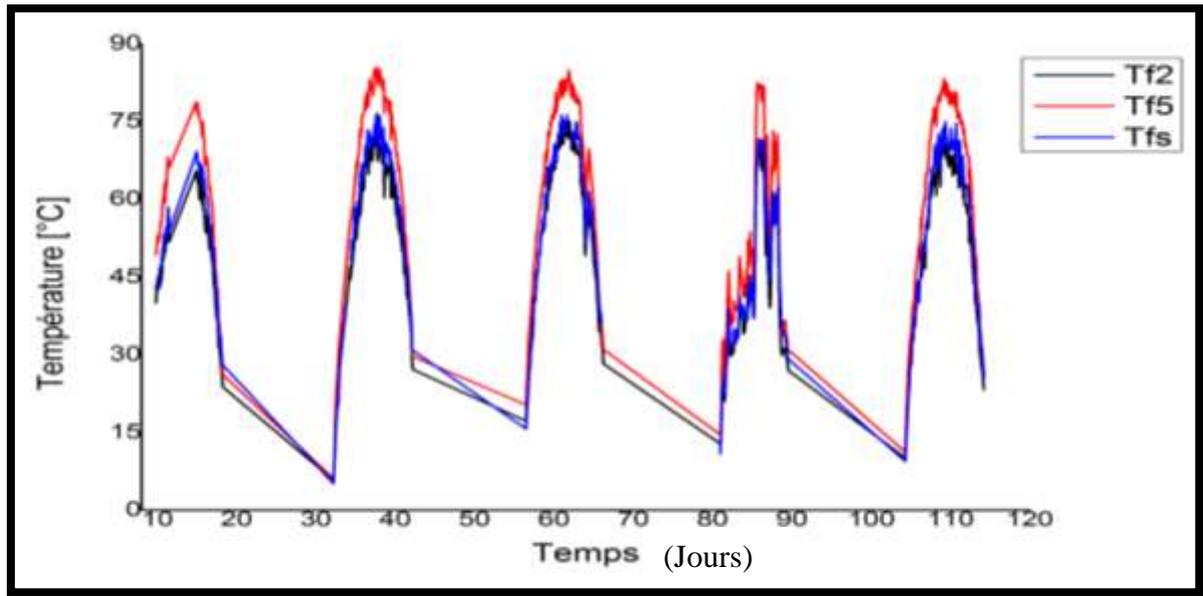


Figure V. 13 Variation des températures des sorties de 2 capteurs du 26 à 30 janvier 2016.

L'interprétation des courbes des cinq (5) jours sur le même graphe permet de faciliter la comparaison. D'abord, nous constatons sur la figure IV.10 une bonne radiation solaire, malgré les légères perturbations pour certaines journées, comme celle du 26 et 29 janvier le ciel est très perturbé, donc trop d'irrégularités sur les courbes. La journée du 27 ; 28 ; et 30 leurs variations est presque uniformes. De même pour les températures aussi ont été bien perturbé. Nous observons aussi sur la figure IV.13 que la température dominante est celle du fluide à la sortie entre l'absorbeur et isolant, thermiquement parlant, le transfert d'énergie entre fluide caloporteur et l'absorbeur est bien meilleur qu'entre vitre-absorbeur. C'est la preuve d'une bonne isolation thermique ; et la raison pour laquelle les pertes vers le bas sont négligeables vis à vis des pertes vers l'avant.

On observe aussi une petite différence entre Tfs et Tf2, Tfs est supérieur à Tf2 alors cette différence est dû au matériau qui constitue la plaque absorbante car le csp simple passe à une plaque d'absorption à base de tôle d'acier galvaniser et le csp double passe à base de tôle d'acier inox. La conductivité de l'acier galvanisé est plus grand que seul de l'acier inox.

V.3 Capteur solaire plan double passe avec recirculation d'air

Dans ce qui suit, nous avons les graphes du capteur solaire plan double passe avec recirculation d'air.

Le rayonnement incident de ce jour évolue constamment sans trop de perturbations, à part une petite remarque de 11h à 13h (voir figureIV.14). Le maximum du flux solaire est au-delà de 1000 w/m^2 ce qui est suffisamment important pour chauffer l'air (fluide caloporteur).

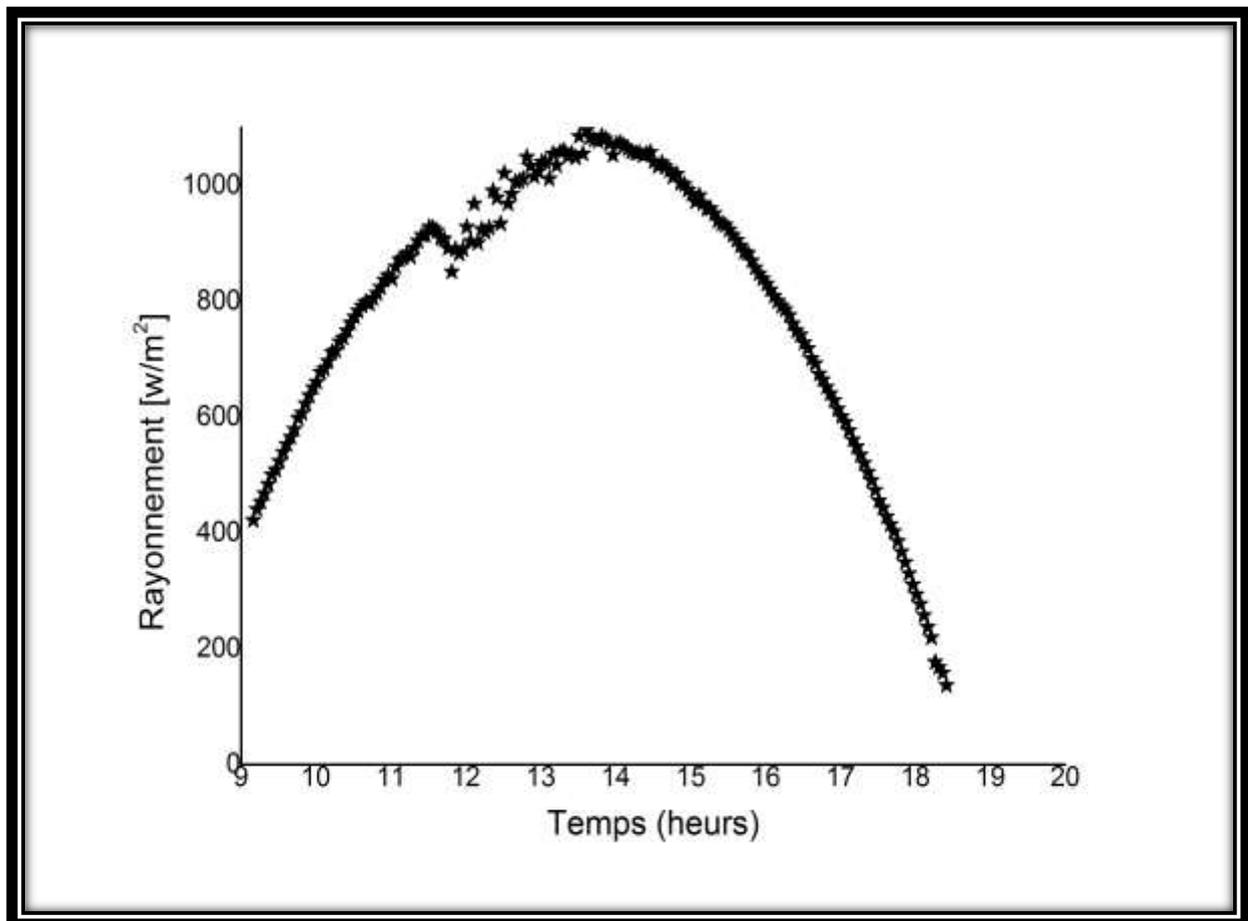


Figure V. 14 Évolution du rayonnement incident pour la journée de 08/02/2016.

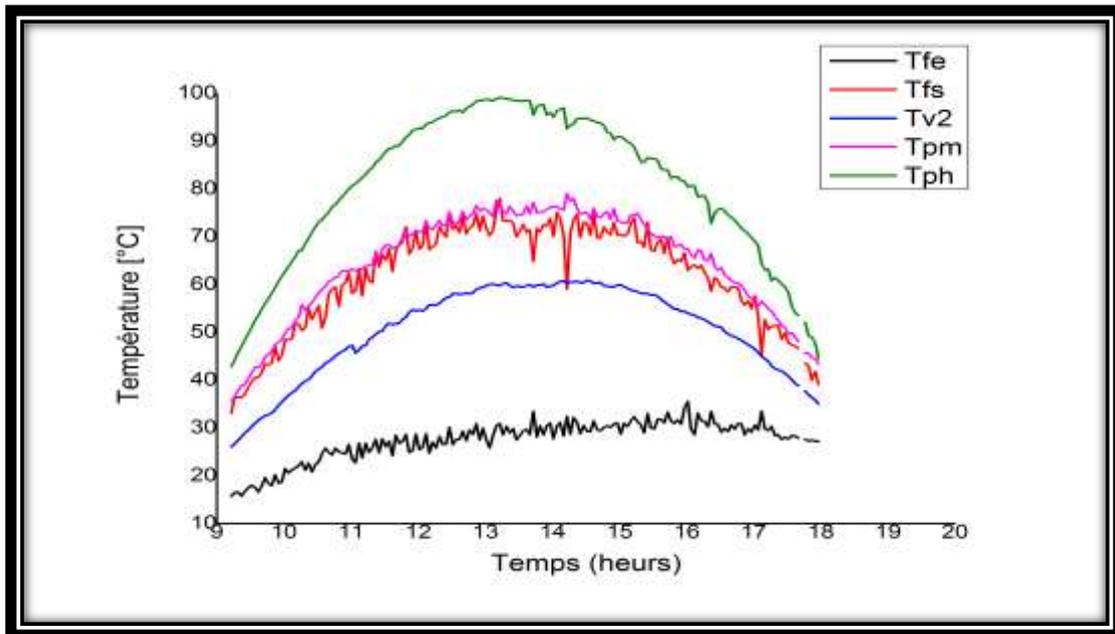


Figure V. 15 Variation des températures du csp simple passe pour la journée de 08/02/2016

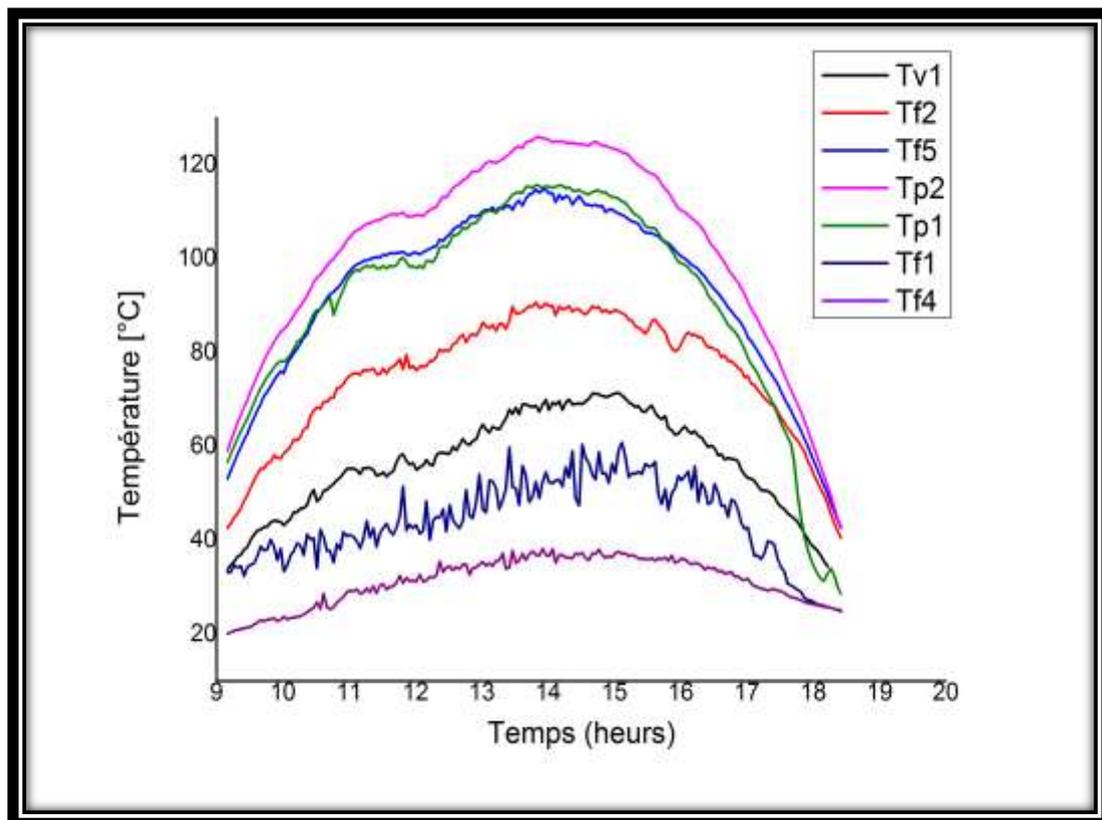


Figure V. 16 Variation des températures de csp double passe pour la journée de 08/02/2016.

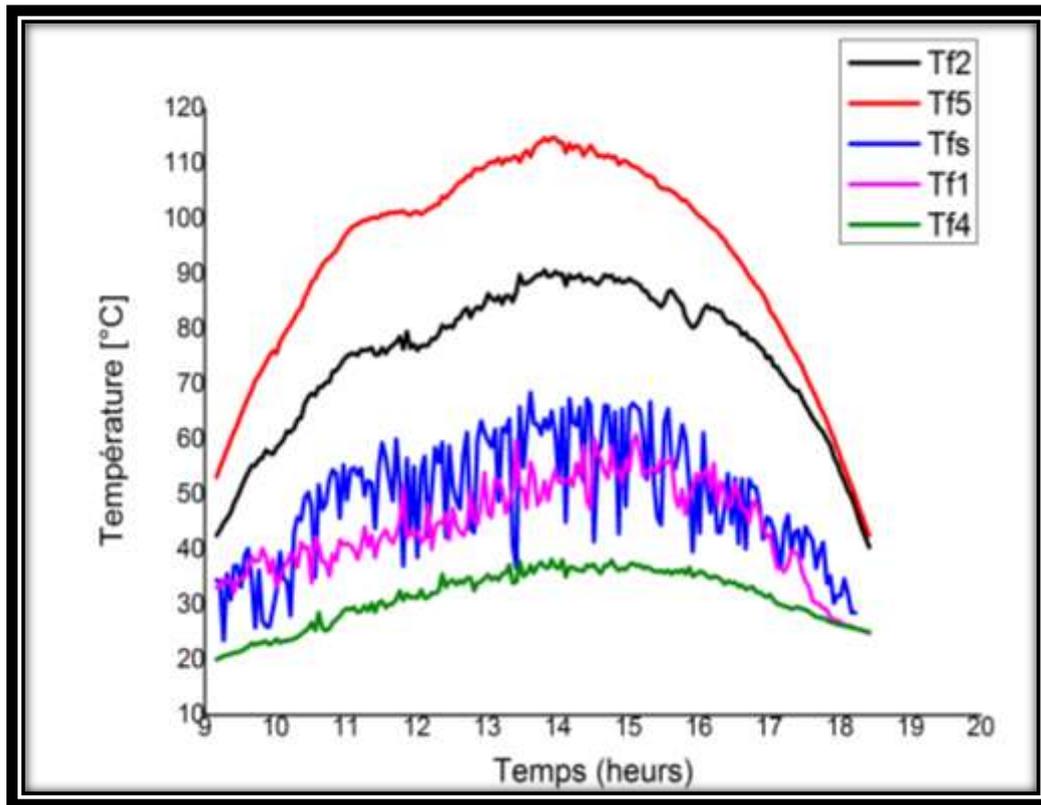


Figure V. 17 Montre la comparaison des températures des sorties pour les deux capteurs 08/02/2016

Pour la configuration du capteur solaire à air double passe avec recirculation d'air démontré par les figures ci-haut (IV.15 ; IV.16 ; IV.17). Concernant les températures captés par nos différents thermocouples montrent que Tf5 est la plus élevée alors ceci est évident à cet endroit l'isolation thermique est parfaite et aussi le point de rencontre de deux flux du premier passage est deuxième passage.

En d'autre terme, au départ l'air pénètre dans les deux canaux par la convection naturelle avec une vitesse de 0.1m/s par le flux d'air se chauffe graduellement en fonction du rayonnement solaire incident et bien sûr aussi en fonction du temps sur toute la surface de captation du csp.

Par suite, en observant la Tf1 et Tf4 qui sont censés être les deux entrées respectivement entre vitre-absorbeur et absorbeur-isolant. Donc en comparant, Tf1 est supérieur à Tf4. Alors on peut déduire que la Tf4 est l'entrée de l'air ce phénomène de transfert thermique de la convection libre n'est pas vraiment évident, mais aux points de Tf5 et Tf2 explique par la loi de transfert thermique s'effectue de milieu le plus chaud vers le milieu le moins chaud.

En effet, la ΔT est acceptable pour certain usage comme le séchage de produit.

Conclusion

Dans ce prestigieux travail expérimentale d'étude des performances de capteurs solaires plans à air de différentes configurations (simple passe, double passe) dans le laboratoire URERMS d'Adrar, afin nous pouvons conclure d'après l'analyse de nos résultats que les valeurs des températures obtenus sont assez bien élevées ce qui va en effet rendre performant notre dispositif est rentable et favorable pour les champs d'applications destiné.

Ceci grâce aux différents matériaux utilisés dans la conception de ce dernier dispositif, les pertes thermiques sont bien optimisées dans tous les sens entre couverture (vitre), absorbeur (tôle inox) et isolant (polystyrène). Il faut noter que l'isolation est parfaite. Ce qui fait que le fluide caloporteur (air) qui circule entre l'absorbeur et l'isolant a une température plus élevée par rapport à celui qui circule entre vitre-absorbeur.

Il est marqué aussi la différence de température entrée et sortie de la deuxième configuration du csp double passe est très faible. Pour ce faire, peut très être augmenté en utilisant des apports artificiel (convection forcé).

Conclusion générale

L'objectif de ce travail était d'étudier la performance thermique du capteur solaire plan à air à double passes avec et sans recirculation d'air.

Le capteur solaire a été réalisé et étudié expérimentalement avec les deux configurations à la station d'URER.MS d'Adrar pour faire une comparaison entre les veines d'air des deux passes entre le vitrage et l'absorbeur et entre l'absorbeur et l'isolant. Ceci grâce aux différents matériaux utilisés dans la conception de ce dernier dispositif, les pertes thermiques sont bien optimisées dans tous les sens entre couverture (vitre) et absorbeur (tôle inox) et entre absorbeur (tôle inox) et isolant (polystyrène). Il faut noter que l'isolation est parfaite. Ce qui fait que le fluide caloporteur (air) qui circule entre l'absorbeur et l'isolant a une température plus élevée par rapport à celui de entre vitre-absorbeur.

La deuxième configuration qui est capteur double passe avec recirculation d'air, à l'entrée la vitesse de l'air est environ de 0,1 m/s. l'air dans le passage 01 gagne de l'énergie thermique par forte convection graduellement grâce l'émissivité de la matière noire.

Par la loi de transfert thermique, le processus du transfert de chaleur se fait du milieu plus chaud vers le milieu moins chaud. C'est la raison pour laquelle l'air chaud de la première passe peut circuler dans la deuxième jusqu'à la rencontre de l'air ambiant qui diminue un peu la chaleur de l'air.

Ce capteur peut être servi dans les différents champs d'applications (mur trombe, séchage des produits agricoles, séchage de bois de chauffe....)

En effet, cette étude expérimentale m'a permis de comprendre pratiquement les connaissances théoriques des lois des transferts thermiques que j'ai appris pendant mon cursus universitaire.

En guise de recommandation pour la suite de cette recherche, nous proposons un double vitrage pour diminuer les pertes vers l'avant. Une variation optimale pour les hauteurs des veines d'air. Et une géométrie des veines différentes afin d'augmenter la vitesse à la sortie.

Bibliographie

- [1]. Wei Chang, Yun Feng Wang, Ming, Xi Luob, Yongbao Ruan, Yongrui Honga, Shaobo Zhanga. « The theoretical and experimental research on thermal performance of solar air collector with finned absorber », *Energy Procedia* 70 (2015) 13 – 22.
- [2]. HENAOUI Mustapha, ALIANE Khaled, SARI-HASSOUN Zakaria. « Etude de l'écoulement de l'air dans un capteur solaire plan muni d'obstacles rectangulaires perforés » ; Vol.3-pp.55-59, Copyright - IPCO 2015
- [3]. S. Bahria 1 and M. Amirat. « Influence de l'adjonction des chicane longitudinales sur les performances d'un capteur solaire plan à air » (*Revue des Energies Renouvelables Vol. 16 N°1 (2013) 51 – 63*)
- [4]. F.Chabane, N.Moumami, S.Benramache. « Experimental study of heat transfer and thermal performance with longitudinal fins of solar air heater ; » *Journal of Advanced Research* (2014) 5, 183–192
- [5]. Hussain H. Al-Kayiem, Ta A. Yassen. « On the natural convection heat transfer in a rectangular passage solar air heater ; » *Solar Energy* 112 (2015) 310–318
- [6]. A. Labeled, N. Moumami, A. Benchabane, K. Aoues et M. Zellouf . « Performances thermiques et pertes de charges de différentes configurations de capteurs solaires plans à air Etude expérimentale dans la région de Biskra, Algérie ; » (*Revue des Energies Renouvelables Vol. 18 N°2 (2015) 209 – 216*).
- [7]. S.S. Krishnananth, K. Kalidasa Murugavel. « Experimental study on double pass solar air heater with thermal energy storage ; » *Engineering Sciences* (2013) 25, 135–140
- [8].S.M González, S. F.Larsen, A. Hernández, Graciela Lesino. « Evaluation thermique et la modélisation d'un solaire à double passe Collecteur pour le chauffage de l'air » ; *Energy Procedia* 57 (2014) 2275– 2284.
- [9]. Santosh Vyas and Dr. Sunil Punjabi, « thermal performance testing of a flat plate solar air heater using optical measurement technique ». (*IJMECH*) Vol.3, No.4, November 2014
- [10]. Rabéa. Kaoulal; S.ElAmine ; T. Benouaz; S.Kherrou, « Modélisation numérique d'un capteur solaire plan à air fonctionnant en régime transitoire en vue d'intégration au bâtiment », Conférence IBPSA France-Arras-2014
- [11]. F. Mokhtari et D. Semmar ; « Etude Expérimentale d'un Capteur Solaire à Air, CDER » ; *Rev. Energ. Ren. : Valorisation (1999) 243-246*

- [12]. K. Aoues*, N. Moummi, M. Zellouf, A. Moummi, A. Labeled, E. Achouri et A. Benchabane ; « Amélioration des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air: Etude expérimentale dans la région de Biskra » ; *Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°2 (2009) 237 – 248*
- [13] N. Hatami a,* , M. Bahadorinejad, « Experimental determination of natural convection heat transfer coefficient in a vertical flat-plate solar air heater» *Solar Energy* 82 (2008) 903–91.
- [14] K. Sopiana, Suprantob, W.R.W. Daudb, M.Y. Othman, B. Yatimc, «Thermal performance of the double-pass solar collector with and without porous media », *Renewable Energy*, 18 (1999), pp. 557-564.
- [15] K. Hami*, B. Draoui et O. Hami « odélisation d'un système de chauffage passif dans la région de Béchar »,
- [16] Cours des énergies renouvelable de Mr A.Azzi (2013-2014);
- [17] J.Christian Lhomme : les EN, 2^{ème} édition System-solaire.
- [18]. SANDALI; « Etude dynamique et thermique d'un capteur solaire à air à double passe avec milieu poreux » ; Thèse de magister 2014
- [19]. J.A Duffie and W.A Beckman, *Solar Energy Thermal Processes*; 2nd edition, Wiley Interscience, New York, 1974
- [20]. M. Capderou, *Atlas solaire de l'Algérie*, Tome 1, Vol. 1 et 2 ; OPU, 1987.
- [21]. BENKHELIFA Abdelaziz, « Modélisation et expérimentation d'un capteur solaire plan ». Thèse de magister 2012
- [22]. Mr BEKKOUCHE. « Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires » ; Thèse de doctorat, 2009
- [23]. Gisement-solaire _Alain Ricaud_Jan-2011.doc
- [24]. K. Salima. « Etude théorique et numérique des systèmes couples : distillateur plan-captteur et distillateur hot box-captteur ». Thèse de magister (2009)
- [25].MEZIANI FERIZA, « détermination de gisement solaire par traitement d'image MSG » ; mémoire de magister,
- [26]. SAADI SOUAD, « effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan », thèse de magister 2010

- [27] A, Mefti; M, Y, bouroubi; H, Mimouni. « Evaluation du potentiel énergétique solaire », Bulletin des Energies Renouvelables, N°2, p 12, décembre. (2002)
- [28] LAARABA Adel « Etude numérique du transfert thermique dans un capteur solaire thermique en présence des partitions attachées à son vitrage », thèse de magister, 2014
- [29] H. A. Mohammed Ali, « Impact de l'écart de Température Entre l'absorbeur et la vitre sur l'efficacité du Capteur Solaire à double Vitrage », thèse de magister, 2009
- [30] Ababsa Dalia, Optimisation Du Rendement D'un Capteur Solaire Par Minimisation Des Pertes Convectives, thèse de magister, 2010
- [31].F.F. ZOHRA, « Etude du transfert thermique dans la lame d'air d'un capteur solaire », thèse de doctorat, 2012
- [32]. LAARABA Adel, « Etude numérique du transfert thermique dans un capteur solaire thermique en présence des partitions attachées à son vitrage », thèse de magister.2014
- [33]. A Mohammed Amine « Etude numérique d'un capteur solaire plan à air Influence de la forme de la rugosité », thèse de magister, 2012
- [34]. www.edf.fr/documentation énergie renouvelable
- [35]. F.A.TAHA, « Développement d'un logiciel de simulation des performances thermiques des capteurs solaires plans » thèse de magister, 2013
- [36]. Cours de convertisseur héliothermique de Mr. K.Aliane, 2015/2016
- [37]. Cours de D.FEDALA « Simulation numérique des écoulements internes dans les turbomachines », école national de mine à paris .édition 2007,

Annexes



Présentation de l'URER.MS d'Adrar



L'Unité de **Recherche en Énergies Renouvelables en Milieu Saharien** (URERMS), c'est une filiale rattachée au centre de Développement des Énergies renouvelables (CDER). Est une structure de recherche, créée par l'Arrêté ministériel N° 76 du 22 mai 2004 au sein de l'EPST CEDER. Les activités de recherche scientifique et de développement technologique menées à l'URER. MS s'inscrivent dans le cadre du programme national de recherche en énergies renouvelables, considéré par les pouvoirs publics comme prioritaire et mobilisateur.

La vocation essentielle de l'Unité est la recherche scientifique appliquée et le développement technologique. Elle est chargée d'effectuer des travaux scientifiques et technologiques sur la conception et le développement des dispositifs et équipements de conditionnement d'énergie solaire et de biomasse,

Procéder à des études relatives à la qualification des sites d'installation des systèmes d'énergie solaire et éolienne, entreprendre des travaux d'essai, d'observation, d'exploitation, d'expérimentation, de mesure, de fiabilité et d'endurance des équipements d'énergie solaire et éolienne,

Entreprendre des travaux de production et de valorisation de la biomasse à des fins énergétiques, environnementales et agronomiques.

Cette unité comprend deux différentes divisions de recherche pour les énergies renouvelable à savoir :

- ❖ La division de recherche de conversion thermique
- ❖ La division de recherche de conversion photovoltaïque

La division de **conversion thermique et thermodynamique** a pour but lucratif sur les activités des recherches en héliothermie et bioconversion.

L'Héliothermie a pour mission sur les travaux des recherches mener sur le développement et l'expérimentation des systèmes de conversion de l'énergie solaire en énergie calorifique utilisable dans différents domaines d'application thermiques, mécaniques ou électriques. Ces travaux regroupent la conception et la réalisation des dispositifs et équipements d'énergie solaire thermique adaptés aux conditions climatiques particulières des régions sahariennes,

La Bioconversion a pour mission l'étude et l'évaluation du gisement de biomasse à l'échelle régional ainsi que l'exploitation et la valorisation des déchets organiques à des fins énergétiques, environnementales et agronomiques.

Alors cette division est composée de quatre équipes :

1. **Équipe de chauffage solaire**

Cette équipe développe des thèmes de recherche sur le chauffage solaire de l'eau; le chauffage des serres et le chauffage des habitations par énergie solaire. Dans le premier thème, les travaux sont consacrés aux études de faisabilité, de développement et d'adaptation des chauffe-eau solaires pour subvenir aux besoins en eau chaude des régions sahariennes en période hivernale.



2. **Équipe de distillation solaire**

Cette équipe a pour mission principale d'étudier et de développer de nouveaux prototypes de distillateurs solaires en vue d'améliorer leur production journalière en eau distillée. Au niveau de cette équipe, plusieurs projets de recherche ont été lancés entre autre : distillateur à ruissellement vertical ; distillateur de type hot-box couplé à un capteur plan ; distillateur solaire à plaque absorbante immergée.



3. Équipe de séchage solaire

Cette équipe est chargée d'entreprendre des travaux de développement et de réalisation de séchoirs solaires directs et indirects pour améliorer les conditions de séchage et de conditionnement de plusieurs produits tels que la tomate, le maïs, le henné, le tabac, les plantes condimentaires et médicinales. L'équipe développera des travaux de recherche sur les matériaux de construction, les capteurs plans à air, ainsi que les cinétiques de séchage...



4. Équipe de bioconversion

Cette équipe de recherche est chargée de mener des études et des travaux de recherche sur le gisement de biomasse à l'échelle régionale. Il s'agit, de l'étude de la palmeraie et des

variétés de dattes susceptibles d'être engagées dans des programmes de production de bio alcool (déchets de dattes et dattes de mauvaise qualité commerciale), des déchets solides municipaux (ordures ménagères au niveau des décharges publics, boues des stations de traitement des eaux usées) pour la production de biogaz et du gisement micro algale pour la production de bio hydrogène, restés jusque-là inexploités. La connaissance de ce potentiel formidable permettra de développer des programmes d'exploitation et de valorisation de cette biomasse à des fins énergétiques, avec des retombées environnementales et agronomiques.



- la division de **conversion photovoltaïque** a pour objectif à court terme de former les chercheurs à travers la maîtrise des applications photovoltaïques déjà existantes, et en les impliquant directement et particulièrement les nouveaux chercheurs dans des projets d'étude et de réalisation qui sont déjà maîtrisés pompage photovoltaïque, éclairage, etc.

L'organisation de cette division comprend cinq (5) équipes à savoir :

1. Équipe de gisement solaire

Cette équipe est chargée de la collecte, de l'exploitation et du traitement des données météorologiques nécessaires à l'évaluation du gisement solaire.

Elle entreprend, entre autre, les travaux suivants:



Elle entreprend, entre autre, les travaux suivants:
La création d'une banque de données, la contribution à l'élaboration de l'Atlas solaire et éolien de l'Algérie, la modélisation du rayonnement solaire, la qualification des sites.

2. Équipe de pompage photovoltaïque

Cette équipe a pour objectif de mener des études de développement et d'installation de systèmes de pompage solaire à irrigation localisée et d'améliorer les caractéristiques énergétiques de ces systèmes de pompage solaire. Ces systèmes sont utilisés pour le renforcement des Foggara et l'alimentation des réseaux d'irrigation.



3. Équipe de froid photovoltaïque

Cette équipe est chargée de mener des études pour l'adaptation de systèmes frigorifiques photovoltaïques sur site saharien et de réaliser et tester les équipements de froid, tel que, les conservateurs médicaux destinés à préserver les médicaments. L'établissement des bilans énergétiques permettra l'optimisation du champ photovoltaïque et le stockage électrochimique nécessaires aux fonctionnements de l'installation.

4. Équipe Électronique de système

Cette équipe est chargée de la collecte, de l'exploitation et du traitement des données météorologiques nécessaires à l'évaluation du gisement solaire. Cette activité permettra la collecte énergétique pour un meilleur dimensionnement des systèmes de conversion.

