

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



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE



DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire de fin d'étude
Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologies

Filière: Génie mécanique

Spécialité: Energétique

Thème

**Etude thermo-hydraulique d'un capteur solaire
muni des chicanes dans la région d'El-Oued**

Présenté par :

Dr. Houda BERKANE

Président

Dr. Mohamed El Taher GHERBI

Examineur

Dr. Nadia NADIR

Examineur

Dr. Ali BOUKHARI

Encadreur

- TOUIL Abd El Hey
- MEHELLOU Ahmed Tedjani
- NOUAR Abdechakour
- HAMAITI Youcef

2021/2022

Dédicaces

*A toute la promotion Génie
Mécanique Energétique.*

Remerciements

Le remerciement infini avant tout est à ALLAH SWT le Plus Puissant qui nous a comblé des bienfaits de l'Islam et de la Science.

Nous exprimons notre profond remerciement à notre encadreur Dr. Ali BOUKHARI, Nous avons le grand plaisir de travailler sous sa direction et profiter de ses enseignements et ses conseils judicieux et pertinents. Nous sommes très reconnaissants à lui pour la patience dont il a fait preuve le long de ce projet qui a nécessité un travail de longue haleine

Nous exprimons également notre profonde gratitude à tous les enseignants du Département de Génie Mécanique.

Résumé:

Dans ce travail nous avons fait une étude expérimentale d'un capteur solaire plan à air destiné à l'utilisation du séchage solaire des produits agricoles et installé dans la région de Oued Souf (sud-est Algérie), où on peut tirer d'avantage du grand potentiel d'énergie thermique solaire, le capteur étudié est testé selon un nombre fini de configurations, à savoir sans/avec chicanes, avec chicanes vrillées ou inclinées, positionnées en parallèle ou en quinconce, servant à intensifier le transfert de chaleur pour le fluide caloporteur. Les résultats obtenus après mesures étaient à la hauteur de nos espérances.

Mots-Clefs: Capteur solaire, Chicane, Séchage solaire, Transfert de chaleur, Fluide caloporteur.

Abstract:

In this work we did an experimental study of a flat air solar collector intended for the use of solar drying of agricultural products and installed in the region of Oued Souf (south-eastern Algeria), where we can take advantage of the great solar thermal energy potential, the studied collector is tested according to a finite number of configurations, namely without/with baffles, with twisted or inclined baffles, positioned in parallel or staggered, serving to intensify the heat transfer for the coolant. The results obtained after measurements were up to our expectations.

Keywords: Solar collector, Chicane, Solar drying, Heat transfer, Heat transfer fluid.

ملخص

في هذا العمل قمنا بدراسة تجريبية لمجمع شمسي هوائي مسطح مخصص للاستخدام في التجفيف الشمسي للمنتجات الزراعية وتم تركيبه في منطقة واد سوف (جنوب شرق الجزائر) حيث يمكننا الاستفادة من الطاقة الحرارية الشمسية الهائلة. يتم اختبار المجمع المدروس وفقًا لعدد محدود من التكوينات، أي بدون / مع حواجز، مع حواجز ملتوية أو مائلة، موضوعة على التوازي أو متداخلة، تعمل على تكثيف نقل الحرارة للمبرد. النتائج التي تم الحصول عليها بعد القياسات كانت على مستوى توقعاتنا.

الكلمات المفتاحية: جامع الطاقة الشمسية، حاجز، التجفيف الشمسي، نقل الحرارة، سائل نقل الحرارة.

Nomenclature

<u>Symbole</u>	<u>Désignation</u>	<u>unité</u>
Cp	Chaleur massique à pression constante	J/kg.°C
G ou I	Rayonnement global incident	W/m ²
λ	le coefficient de conductivité thermique.	W/m.°C
P	La masse volumique	Kg/m ³
M	La viscosité dynamique.	Kg/m.s
C	la vitesse de la lumière	m/s
h	la constante de Planck	Js
E	L'énergie de photon	W
I_{cl_st}	l'isolation statique des vêtements	m ² K/W
I_{a_st}	la résistance thermique statique de l'air	m ² K/W
Q _s	L'énergie interne du capteur par temps	W
Q _{l,o}	la perte optique	W
Q _{l,h}	perte de chaleur	W
Q _u	l'énergie utile délivrée par le capteur	W
A _a	La surface d'ouverture du capteur	m ²
$\frac{Dh}{Dt}$	la variation d'enthalpie	J
$\frac{DP}{Dt}$	le taux de travail de pression.	J
λ	longueur d'onde	m

q_m	Le débit massique	Kg/s
f_{cl}	le facteur de surface vestimentaire	$m^2 \text{ K/W}$
τ	la transmittance du couvercle transparent	-
α	Coefficient d'absorption	-
T_a	la température ambiante	$^{\circ}\text{C}$
T_{abs}	la température de l'absorbeur	$^{\circ}\text{C}$
θ_i	l'angle d'incidence du rayonnement solaire	$^{\circ}$
T	la température moyenne du fluide	$^{\circ}\text{C}$
η	la performance thermique d'un capteur	-
$T_{f,i}$	les températures de fluide en entrée	$^{\circ}\text{C}$
$T_{f,o}$	les températures de fluide en sortie	$^{\circ}\text{C}$

INDEX DES FIGURES

Chapitre I

Figure. I.1- Bilan du rayonnement solaire arrivé au sol.....	7
Figure I.2- Schéma de principe d'un capteur solaire plan [10].....	8
Figure I.3 : capteur plan.....	10
Figure I.4 : Un capteur solaire plan avec vitrage.....	10
Figure I.5 : Capteurs plans non vitrés.....	11
Figure I.6 : Les types génériques principaux d'écoulements [16].....	15
Figure I.7- différents type d'absorbeur [17].....	15
Figure (I.8) : les capteurs à tubes sous vide.....	17
FigI.9 : capteurs à concentration [20].....	18
Figure (I.10) : Schéma d'un capteur à concentration type parabolique.....	19
Figure I.11 : Principe de Conversion de l'Energie Solaire.....	20
Figure I.12 : Les trois différents premiers modes des séchoirs solaires.....	23

Chapitre II

Fig II. 1: Processus de transmission, de diffusion, d'absorption et de réflexion dans l'atmosphère (les chiffres sont des pourcentages du rayonnement solaire incident) [30].....	26
Figure II. 2. Relation de conservation d'énergie du solaire VTBC.....	27
Figure II .3. Les processus de transmission, d'absorption et de réflexion du rayonnement dans le système transparent de recouvrement-absorption.....	29
Figure II .4. Composition totale des pertes de chaleur d'un VTBC.....	30
Figure II .5. Schéma du réseau thermique du capteur solaire V'BC en termes de résistance thermique de conduction, de convection et de rayonnement.....	31
Figure II .6. Schéma du réseau thermique du capteur solaire VTBC en termes de résistance thermique entre les deux côtés.....	32

Chapitre III

Figure III .1: Isolation thermique du capteur plan à air.....	38
Figure III .2: Isolation thermique des longueurs d'entrée.....	39
Figure III .3: Forme et emplacement des chicane étudiées.....	40
Figure III .4: Schéma des différents composants du capteur solaire à air plan....	40
Figure III .5: Vue globale du conduit conique (collecte d'air.....	41

Figure III .6: Photographie de thermomètre et thermocouples.....	42
Figure III .7: Photographie de Pyranomètre (solarimètre).....	43
Figure III .8: Photographie d'anémomètre en action.....	44
Figure III .9: Capteur solaire muni des chicanes (prêt pour utilisation).....	45
Figure III .10: présentation des deux types de chicanes testées.....	46
Figure III .11: Capteur témoin (Première expérience).....	47
Figure III .12: Positionnement des capteurs de mesure (Deuxième expérience).....	48
Figure III .13: Positions des chicanes (Troisième expérience)	49
Figure III .14 : Chicanes vrillées.....	50

Chapitre IV

Figure IV.1: Comparaison des températures du capteur1 à la température ambiante positionnées en parallèle (Quatrième expérience).....	52
Figure IV.2: Relation entre la température moyenne du capteur#1 et le débit d'air entrant.....	54
Figure IV.3: Efficacité du capteur témoin.....	55
Figure IV.4: Comparaison des températures du capteur #2 à la température ambiante.....	56
Figure IV.5: Relation entre la température moyenne du capteur #2 et le débit d'air entrant.....	58
Figure IV.6: Efficacité du capteur de deuxième configuration.....	59
Figure IV.7: Comparaison des températures du capteur3 à la température ambiante.....	61
Figure IV.8: Relation entre la température moyenne du capteur #3 et le débit d'air entrant.....	62
Figure IV.9: Efficacité du capteur3.....	63
Figure IV.10: Comparaison des températures du capteur4 à la température ambiante.....	64

Figure IV.11: Relation entre la température moyenne du capteur #4 et le débit d'air entrant.....	66
Figure IV.12: production énergétique du capteur4.....	67
Figure IV.13: Comparez les températures moyennes.....	68
Figure IV.14: rendement de tous les capteurs.....	68

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

Tableau I.1. Répartition spectrale du rayonnement thermique [5].....	5
Tableau I.2 : Quelques matériaux utilisés pour l'absorbeur solaire [11]	12
Tableau I.3 : Caractéristiques des isolants les plus utilisés [14]	14

Chapitre IV

Tableau IV.1: Résultats de la température ambiante et température du capteur n°1.....	52
Tableau IV.2: Le débit massique d'air après chaque heure avec la température moyenne du capteur n ° 1.....	53
Tableau IV.3: Les valeurs du flux de chaleur solaire et du flux de chaleur pour le capteur #1 après chaque heure.....	54
Tableau IV.4: Résultats de la température ambiante et température du capteur n° 2..	56
Tableau IV.5: Le débit massique d'air après chaque heure avec la température moyenne du capteur n ° 2.....	57
Tableau IV.6: Les valeurs du flux de chaleur solaire et du flux de chaleur pour le capteur #2 après chaque heure.....	58
Tableau IV.7: Résultats de la température ambiante et température du capteur n°3...	60
Tableau IV.8: Le débit massique d'air après chaque heure avec la température moyenne du capteur n ° 3.....	61

Tableau IV.9: Les valeurs du flux de chaleur solaire et du flux de chaleur pour le capteur #3 après chaque heure.....	62
Tableau IV.10: Résultats de la température ambiante et température du capteur n° 4.....	64
Tableau IV.11: Le débit massique d'air après chaque heure avec la température moyenne du capteur n ° 4.....	65
Tableau IV.12: Les valeurs du flux de chaleur solaire et du flux de chaleur pour le capteur #4 après chaque heure.....	66

Tables des matières

INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I:	
Généralités sur les capteurs solaires.	
1. Le rayonnement.....	4
2. Le rayonnement solaire.....	4
2.1. L'énergie solaire reçue sur Terre.....	5
2.2. Transmission du rayonnement solaire à travers l'atmosphère.....	6
2.2.1. Rayonnement diffuse.....	6
2.2.2. Rayonnement direct.....	6
2.2.3. Le rayonnement global.....	6
3. Les capteurs solaires.....	7
3.1. Capteur plan.....	8
3.1.1. Capteurs plans avec vitrage.....	10
3.1.2. Les capteurs solaires plans non vitré.....	11
3.1.3. Les différents composants d'un capteur solaire à air.....	11
a. L'absorbeur.....	11
b. La couverture transparent.....	13
c. L'isolant	13
d. Le coffre.....	14
3.1.4. Différents types des capteurs solaires plans à air.....	14
3.1.4.a. Capteurs à absorbeur plan.....	14
3.1.4.b. Capteurs à absorbeur perméable.....	15
3.1.4.c. Capteurs à absorbeur à géométrie variable.....	15
3.2. Les capteurs à tubes sous vide.....	16
3.3. Les capteurs à concentration	17
3.3.1. Concentrateurs paraboliques	18
3.3.2. Héliostats.....	19
4. les capteurs photovoltaïques.....	19
5. Séchage solaire.....	20
5.1. Le séchoir solaire direct.....	20
5.2. Le séchoir solaire indirect.....	22
5.3. Les séchoirs mixtes	22
Chapitre II:	
Modélisation Mathématique.	
II-1- Equation d'énergie.....	24
II-2- Rayonnement solaire.....	24
II-3- Sous état thermique statique.....	26
II-4- Relation de conservation de l'énergie.....	27
II-5- Produit efficace de transmission-absorption pour l'absorbeur	28
II-6- Analyse des pertes de chaleur.....	30
II-7- Analyse de transfert de chaleur.....	32
II-8- Facteur d'efficacité.....	32
II-9- Facteur d'évacuation de la chaleur.....	33
II-10- Température de l'absorbeur et température moyenne du fluide.....	34
II-11- Efficacité du capteur.....	34

Chapitre III:	
réalisation expérimentale d'un capteur solaire plan à air	
III.1. Préambule.....	36
III.2. Conception et réalisation du capteur plan à air.....	37
III.3. Nombre de couvertures en verre.....	40
III.4. Instrumentation.....	40
III.4.1. Mesure de température.....	40
III.4.2. Mesure du Rayonnement solaire.....	42
III.4.3. Mesure de Vitesse d'air.....	43
III.5. Assemblages des équipements et démarche expérimentale.....	43
III.6 Acquisition des données (l'enregistreur de données).....	49
Chapitre IV: Résultats & discussions	
IV.1. Première configuration: Capteur témoins (sans chicanes)	51
1.1. Distribution de la température à l'intérieur du capteur en fonction de la température ambiante.....	51
1.2. Effet du débit d'air entrant ($\dot{m}$) sur la température moyenne du capteur (T_m).....	52
1.3. Efficacité du capteur #1	53
IV.2. Deuxième configuration: Capteur avec chicanes à un angle distribué en parallèle.....	55
2.1. Distribution de la température à l'intérieur du capteur avec la température ambiante.....	55
2.2. Effet du débit d'air entrant ($\dot{m}$) sur la température moyenne du capteur (T_m).....	56
2.3. Efficacité du capteur #2.....	57
IV.3 Troisième configuration: Capteur avec chicanes à un angle distribué en quinconce.....	59
3.1. Relation entre la distribution de la température à l'intérieur du capteur et la température ambiante.....	59
3.2. Effet du débit d'air entrant ($\dot{m}$) sur la température moyenne du capteur (T_m).....	60
3.3. Efficacité du capteur #3.....	61
IV.4. Quatrième configuration: Capteur avec chicanes torsadés (vrillées) distribuées en parallèle.....	63
4.1. Champs de température à l'intérieur du capteur par rapport à la température ambiante.....	63
4.2. Effet du débit d'air entrant ($\dot{m}$) sur la température moyenne du capteur (T_m).....	64
4.3. Efficacité du capteur #4.....	65
IV.5 Comparaison des températures moyennes par rapport au capteur témoin.....	67
5.1 Performances des différentes configurations de capteurs solaires testés.....	67
V. Conclusion Générale	69

INTRODUCTION GENERALE

Depuis le début de la révolution industrielle, les besoins énergétiques des pays ont augmenté et la consommation d'énergie a augmenté, d'où l'intérêt pour les ressources souterraines non renouvelables, notamment le pétrole et le gaz naturel. Avec l'augmentation de l'utilisation de ces ressources et la connaissance de leur impact important sur la pollution de l'environnement et sa cause directe dans le réchauffement climatique et dans de nombreuses catastrophes naturelles.

Selon un rapport du GIEC (Groupe Intergouvernemental sur le Changement Climatique) en 2007, il a été constaté que la température moyenne sur la planète avait augmenté de 0.6°C au cours du siècle dernier, et les scientifiques prévoient que la température moyenne de la planète atteindra de 1.8 à 4°C. Et cela a poussé les pays à chercher une autre alternative à ces ressources fossiles et à se tourner vers les ressources naturelles renouvelables, dont la plus importante est l'énergie solaire.

L'énergie solaire thermique a été utilisée pendant des siècles par les peuples anciens pour exploiter l'énergie solaire pour le chauffage et le séchage. Plus récemment, dans une grande variété de processus thermiques, l'énergie solaire a été développée pour la production, le chauffage de l'eau, le séchage mécanique des cultures et la purification de l'eau, entre autres. Compte tenu de la gamme de températures de travail des procédés solaires thermiques, les applications les plus importantes sont ;

- Pour le chauffage d'eau à moins de 100°C à usage domestique et de piscines, le chauffage de bâtiments et les systèmes d'évaporation tels que la distillation et les sécheurs ;
- pour moins de 150°C : climatisation, refroidissement, et chauffage d'eau, d'huile, ou d'air à usage industriel ;
- Pour des températures entre 200 et 2000°C : génération de puissance électrique et mécanique ;
- Pour moins de 5000°C : fours solaires pour le traitement des matériaux.

Pour les processus nécessitant plus de 100°C, le flux d'énergie solaire n'est pas suffisant pour élever la température du fluide de travail à un niveau aussi élevé ; au

lieu de cela, un certain type de concentration du flux d'énergie à l'aide de miroirs ou de lentilles doit être utilisé. Ensuite, le rapport entre le flux d'énergie reçu pour l'absorbeur d'énergie et celui capté par le collecteur doit être supérieur à un, et les conceptions permettent souvent d'atteindre facilement une concentration de centaines de soleils.

L'aérotherme solaire occupe une place importante parmi les capteurs de chaleur solaire. Son rôle a été pour la plupart mal compris ou ignoré. Avec la tendance consistant à fournir à la fois du chauffage et du refroidissement à l'énergie solaire, les radiateurs à liquide pour le chauffage à haute température ont gagné en popularité. En ce qui concerne l'application ultime du chauffage de l'air pour maintenir un environnement confortable, le chauffe-air solaire est le meilleur choix. Chauffer un fluide par le soleil, puis transférer de la chaleur à l'air se traduit par une perte de température Potentiel disponible. Si les limitations des applications de l'énergie solaire en termes de durées réalisables et d'efficacités associées ainsi que les exigences de faible coût sont prises en compte, il serait plus sage d'éliminer tout transfert de chaleur. L'utilisation directe de l'air circulant à travers le réchauffeur d'air solaire comme substance de travail également le nombre de composants requis dans le système. L'air chauffé par le soleil pourrait être utilisé plus efficacement pour le séchage dans des conditions contrôlées. Les réchauffeurs solaires fournissant de l'air chaud à un séchoir conventionnel ou les conceptions combinant le réchauffeur d'air et l'armoire de séchage dans un seul ensemble ont un coût et une efficacité pour les applications de séchage. Les réchauffeurs d'air solaires éliminent également les problèmes de corrosion et de fuite qui peuvent être difficiles et coûteux à résoudre. Le coût du réchauffeur d'air pourrait être nettement inférieur à celui des systèmes liquides. Pressions plus élevées exclues Dans les réchauffeurs de liquide, l'utilisation de tôles ou de tubes de gros calibre [1].

Notre travail a pour objectif d'étudier l'effet de la forme et de la position des chicanes de l'absorbeur sur l'efficacité d'un capteur solaire plan à air.

Pour ce faire, nous avons mené des expérimentations afin de tester l'efficacité de certains obstacles artificiels. Et cela nous a permis d'obtenir des résultats représentés graphiquement, suivis d'une analyse et d'une discussion, puis d'une conclusion finale.

Le présent mémoire comprend quatre chapitres répartis comme suit ;

- Le premier chapitre est consacré à l'étude du rayonnement solaire avec la connaissance des types de capteurs solaires et de quelques méthodes de séchage.
- Le deuxième chapitre est une modélisation mathématique du capteur solaire plan et des équations le contrôlant.
- Dans le troisième chapitre, nous expliquerons l'expérience que nous avons faite avec la définition des composants du capteur, leurs dimensions, les types de chicanes utilisées et les dispositifs utilisés dans la mesure.
- Dans le quatrième chapitre, nous interprétons les résultats obtenus et donnons une conclusion.

Une introduction générale et une conclusion se rapportant au travail, parachèvent ce mémoire.

Chapitre I

**Généralités sur les
capteurs solaires.**

Introduction:

L'énergie solaire thermique est la transformation du rayonnement solaire en énergie thermique. Cette transformation peut être utilisée directement (pour chauffer un bâtiment par exemple) ou indirectement (comme la production de vapeur d'eau pour entraîner des turboalternateurs et ainsi obtenir de l'énergie électrique). En utilisant la chaleur transmise par rayonnement plutôt que le rayonnement lui-même, ces modes de transformation d'énergie se distinguent des autres formes d'énergie solaire comme les cellules photovoltaïques.

I. Le rayonnement :

Les molécules sont composées de particules d'électrons et de protons permettent l'accélération de ces molécules que l'on appelle rayonnement électromagnétique ayant à l'origine l'agitation atomique à la surface du corps.

Le mécanisme de rayonnement est créé par l'émission et l'absorption des ondes électromagnétique porteuse d'énergie rayonnante et par la transmission de celle-ci en chaleur avec le changement d'état énergétique (énergie interne) des corps qui la retiennent [2].

II. Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est l'énergie produite par le soleil par des réactions La fusion thermonucléaire qui libère des quantités massives d'énergie La majeure partie de l'énergie sur terre qui est disponible et peut être utilisée pour produire de l'électricité [3].

L'énergie solaire voyage dans l'espace sous forme de "particules" ou de quanta l'énergie, les photons ; elle se renouvelle sans cesse.

Le rayonnement qui nous parvient du soleil est émis par sa surface externe, La température est d'environ 6000 K. A cette température, 40% de l'énergie est Émet dans le visible (longueur d'onde comprise entre 0.3 μm (violet - bleu) à 0.7 μm (rouge). La décomposition du rayonnement solaire peut être obtenue par Projetez le faisceau sur un prisme en verre ou un réseau de diffraction. Tout le spectre apparaît, du bleu et rouge au vert et jaune [4].

La répartition de l'énergie solaire dans la bande spectrale du rayonnement thermique est indiquée dans le tableau I.1 :

Tableau I.1. Répartition spectrale du rayonnement thermique [5].

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

II.1. L'énergie solaire reçue sur Terre :

La Terre est à 150 millions de kilomètres du soleil. Cela émettra en permanence 1026 Watts Sous forme de rayonnement, la terre reçoit 178 millions de watts A l'équateur, la surface éclairée est de 350 watts par mètre carré. Le rayonnement solaire est un rayonnement électromagnétique, comprenant principalement :

- La lumière visible avec des longueurs d'onde comprises entre 400 nm et 800 nm ;
- Le rayonnement infrarouge (IR) avec des longueurs d'onde inférieures à 400 nm ;
- Le rayonnement ultraviolet (UV) avec des longueurs d'onde supérieures à 800 nm.

Sur Terre, l'atmosphère (par le biais du dioxyde de carbone, de l'ozone, de la vapeur d'eau, etc.) absorbe Principalement infrarouge et ultraviolet, et un peu de lumière visible. Par conséquent, plus l'atmosphère est épaisse Le franchissement est important, moins le sol reçoit d'énergie solaire. Plus on se rapproche des pôles, plus la lumière est inclinée : la même quantité d'énergie est répartie sur une plus grande surface. Par conséquent, par unité de rayonnement solaire La surface reçue diminue de l'équateur aux pôles (ceci, avec l'inclinaison de l'axe terrestre, est à l'origine des phénomènes saisonniers). L'énergie solaire est également réduite :

- En alternant jour et nuit ;
- Couverture nuageuse (qui réduit l'énergie solaire de 50%);
- Changements saisonniers.

II.2.Transmission du rayonnement solaire à travers l’atmosphère :

II.2.1.Rayonnement diffuse :

Le rayonnement diffus est constitué par la lumière diffusée par l’atmosphère et de sa réfraction par le sol. La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Dans le ciel ce sont à la fois les molécules d’air, les gouttelettes d’eau (nuage) et les poussières qui produisent cet éclatement des rayons du soleil.

Le rayonnement diffus du ciel est beaucoup plus difficile à analyser que le rayonnement direct. Tout d’abord le sol réfléchit en moyenne le tiers du rayonnement qu’il reçoit et il faut tenir compte également de la diffusion de ce rayonnement réfléchi.

II.2.2.Rayonnement direct :

Le rayonnement direct est le rayonnement reçu directement du soleil, sans diffusion dans l’atmosphère, ses rayons sont parallèles entre eux.

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 [6].

II.2. 3. Le rayonnement global :

Le rayonnement global (G) est la somme des rayonnements diffus et direct [6]:

$$G=G_{\text{dir}}+G_{\text{dif}} \quad (\text{I.1})$$

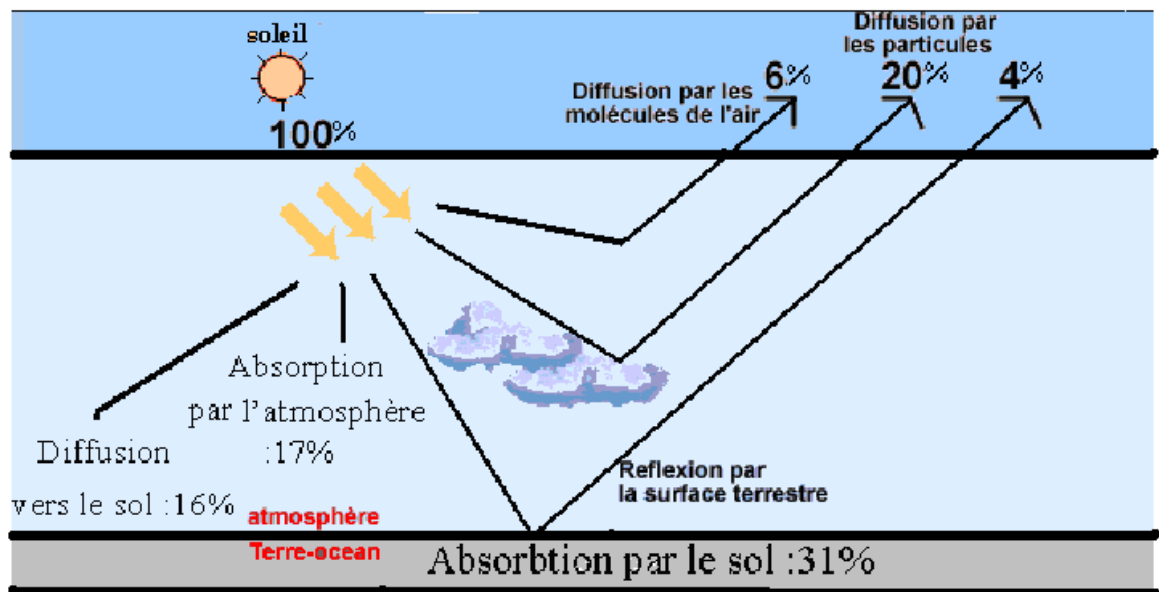


Figure. I.1- Bilan du rayonnement solaire arrivé au sol.

III. Les capteurs solaires :

Les capteurs solaires se distinguent en tant qu'échangeurs de chaleur à basse, moyenne ou haute température. Il existe essentiellement trois types de capteurs solaires thermiques [7-8] :

- Capteur plan ;
- Capteur à tube sous vide ;
- Capteur à concentration.

Bien qu'il existe de grandes différences géométriques, leur objectif reste le même : convertir le rayonnement solaire en chaleur pour satisfaire certains besoins énergétiques. La chaleur produite par les capteurs solaires peut répondre directement à la demande d'énergie ou être stockée. Pour faire correspondre demande et production d'énergie, les performances thermiques du capteur doivent être évaluées. L'énergie utile instantanée captée (Q_u) est le résultat d'un bilan énergétique sur le capteur solaire.

Pour évaluer correctement la quantité d'énergie produite dans un capteur solaire, il est nécessaire de considérer les propriétés physiques des matériaux. Le rayonnement solaire, principalement de courte longueur d'onde, passe à travers une couverture translucide et frappe le récepteur d'énergie. Le verre à faible teneur en fer

est couramment utilisé comme couverture de vitrage en raison de sa transmissivité élevée ; la couverture réduit également considérablement les pertes de chaleur. Les caractéristiques optiques du récepteur d'énergie doivent être aussi proches que possible de celles d'un corps noir, en particulier une absorption élevée [9].

III.1. Capteur plan :

Un capteur solaire plan est constitué d'un caisson isolé étanche en métal ou en fibre de verre contenant une plaque absorbante de couleur foncée, réceptrice d'énergie, avec un ou plusieurs vitrages translucides. Les plaques absorbantes sont généralement fabriquées en métal en raison de sa conductivité thermique élevée et peintes avec des revêtements de surface sélectifs spéciaux afin d'absorber et de transférer la chaleur mieux que la peinture noire ordinaire. Les couvertures vitrées réduisent les pertes de chaleur par convection et rayonnement dans l'environnement. La figure III.1 montre les composants typiques d'un capteur plan classique. Ces systèmes sont toujours montés dans une position fixe optimisant le gain d'énergie pour l'application spécifique et l'emplacement particulier. Les capteurs plats peuvent être montés sur un toit, dans le toit lui-même ou être autoportants.

Le capteur gagne de l'énergie lorsque le rayonnement solaire traverse la couverture ; le faisceau et le rayonnement solaire diffus sont utilisés lors de la production de chaleur. Plus la transmission (x) du vitrage est élevée, plus le rayonnement atteint la plaque absorbante. Une telle énergie est absorbée dans une fraction égale à l'absorptivité (a) du récepteur en métal noir. S'il s'agissait d'un absorbeur parfait, tel qu'un corps noir, l'absorptivité en serait un. L'énergie instantanée gagnée par le récepteur (Q ou) est donnée par.

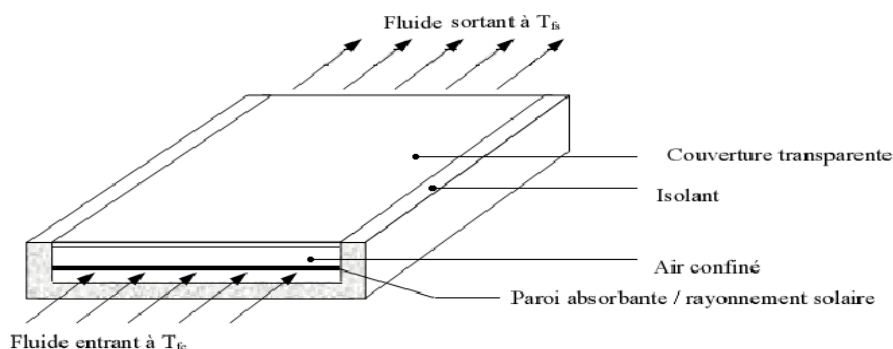


Figure I.2- Schéma de principe d'un capteur solaire plan [10].

Un capteur solaire plan est un dispositif de conversion d'énergie qui absorbe le rayonnement solaire et transfère l'énergie à un fluide de travail traversant le capteur. Un collecteur à plaques planes ne concentre pas l'énergie incidente avant l'absorption, il est donc capable de capter à la fois les composantes directes et diffuses du rayonnement. Les capteurs plans sont principalement utilisés pour le chauffage de l'air et de l'eau. Les principales caractéristiques des capteurs plans sont :

- Une couverture haute transmission ;
- Une plaque absorbante revêtue d'une couche à haut pouvoir absorbant (solaire) et à faible émission (infrarouge) ;
- Une plaque d'absorbeur à haute conductivité avec une construction à ailettes et à tubes ou une plaque à faible conductivité avec des chemins de conduction thermique courts à travers l'absorbeur.
- Des passages de fluide caloporteur en bon contact thermique avec la plaque Absorbeur ; et
- Boîtier étanche avec isolation derrière la plaque absorbante.

Les capteurs plans (Figure III.2) ont la plus grande surface d'absorption de chaleur. Cependant, ils ont également la perte de chaleur la plus élevée de tous les capteurs. Ce facteur limite généralement le fonctionnement des capteurs plans à moins de 80 °C (pour un rendement > 25 %), cependant, avec un double vitrage, une suppression de la convection ou une isolation sous vide, un fonctionnement à température plus élevée est possible. Si la température de fonctionnement du capteur est proche de la température ambiante, le couvercle et l'isolation ne sont pas nécessaires. Pour les applications à haute température La perte de chaleur d'un capteur solaire à plaque plane peut être réduite en montant l'absorbeur dans un récipient sous vide transparent. En raison de problèmes structurels, le conteneur sous vide est généralement un cylindre en verre (collecteur tubulaire sous vide) [1]. En Plus, ce type du capteur peut être vitré ou non vitré :

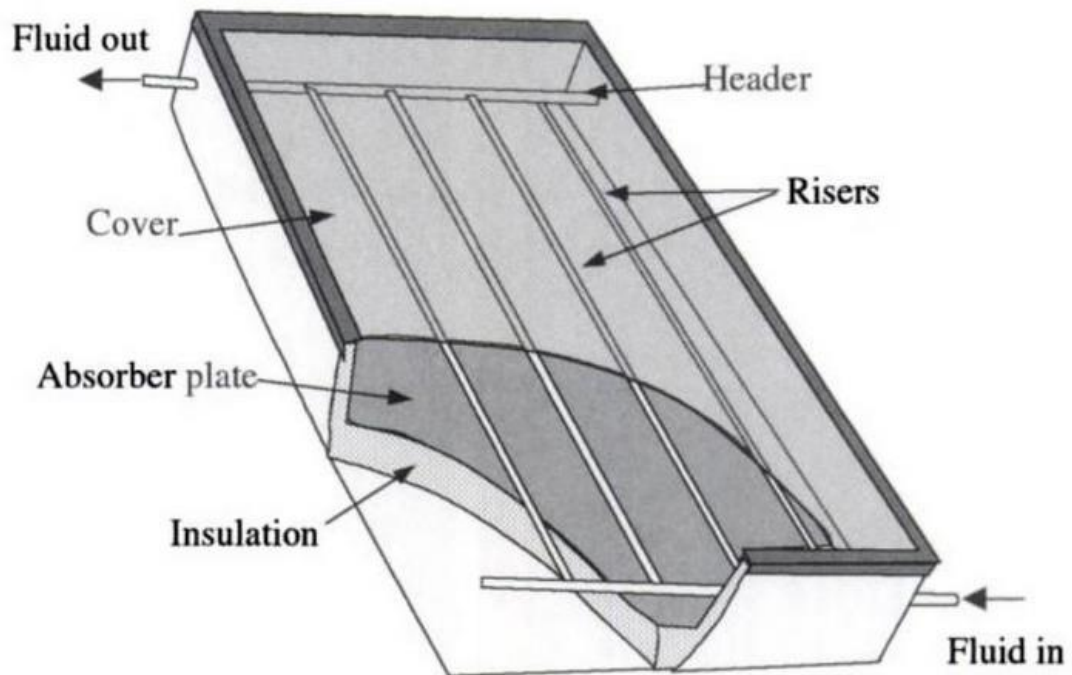


Figure I.3 : capteur plan.

III.1.1. Capteurs plans avec vitrage :

L'énergie est ainsi emprisonnée dans le capteur à cause du vitrage (effet de serre) Ces capteurs sont utilisés pour des applications à températures modérées. C'est le cas ouvert toute l'année de chauffage des piscines intérieures.

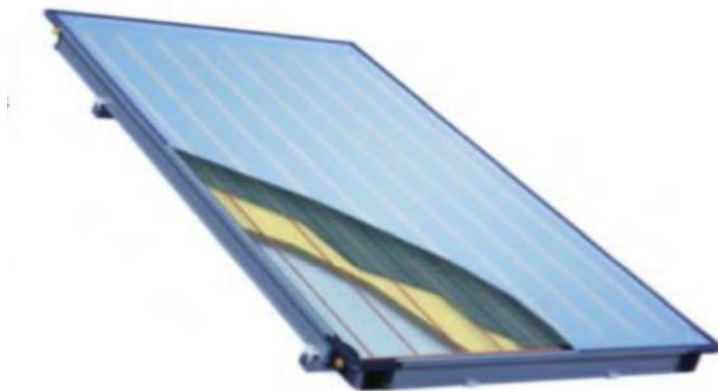


Figure I.4 : Un capteur solaire plan avec vitrage.

III.1.2. Les capteurs solaires plans non vitrés :

Ils sont constitués d'un réseau de tubes peints en noir sans couverture transparente

(figure I.5). Ils sont utilisés pour le chauffage de l'eau des piscines extérieures en âge et assurent des températures relativement basses de 30 à 35°C. C'est un capteur que par contre, est très dépendant de la température of l'air.



Figure (I.5) : Capteurs plans non vitrés.

III.1.3. Les différents composants d'un capteur solaire à air :

a. L'absorbeur :

L'absorbeur est l'élément central du capteur solaire, il absorbe le rayonnement solaire global de courtes longueurs d'onde et le convertit en chaleur [10].

Deux fonctions incombent à l'absorbeur [11] :

1. absorber la plus grande partie du rayonnement solaire possible.
2. transmettre la chaleur produite vers le fluide caloporteur avec un minimum de pertes.

L'absorbeur est le plus léger possible afin de limiter l'inertie de mise en régime. Ce rôle est de capter au maximum le rayonnement et d'en réémettre le moins possible.

En général, un absorbeur efficace a une bonne absorptivité ainsi que sa faible émissivité. Cependant, les surfaces métalliques tendent à réfléchir la lumière d'où une perte d'énergie. Pour résoudre ce problème, les surfaces métalliques doivent être

enduites d'une surface sélective qui d'une part absorbe le rayonnement solaire de courtes longueurs d'onde avec un rendement élevé et le transforme en IR par l'effet de déplacement de Wien et qui, d'autre part ne perd que très peu d'énergie grâce à son état de surface qui agit comme un piège vis-à-vis du rayonnement IR ($\varepsilon < 0.15$, $\alpha > 0.9$). Cette surface n'est considérée comme surface noire que pour la lumière solaire, pour les IR elle agit comme un miroir [10].

Tableau I.2 : Quelques matériaux utilisés pour l'absorbeur solaire [11]

Matériaux	Coefficient d'absorption (α)	Coefficient d'émission (ε)
Acier	0.44	0.23
Acier galvanisé neuf	0.64	0.18
Acier galvanisé oxydé	0.8	0.26
Acier galvanisé blanchi	0.24	0.76
Acier inoxydable traité	0.75	0.12
Bac aluminium	0.45	0.09
Feuille aluminium polie	0.09	0.06
Aluminium oxydé	0.15	0.5
Silice sur aluminium	0.57	0.11
Cuivre terni	0.63	0.4
Cuivre traité	0.91	0.16
Cellule silicium	0.95	0.32
Goudron	0.83	0.87
Ardoise	0.89	0.72
Ardoise asbeste	0.97	0.82
Béton		
Propre	0.55	0.92 – 0.97
(1/2) propre	0.70	
Sale	0.80	
Aggloméré		
Bois		
Clair	0.60	0.90 – 0.95
Foncé	0.85	
Briques vernissée, blanche	0.26	0.81 – 0.86
Calcaire		0.95 – 0.96
Claire	0.35	
Sombre	0.50	
Grès		
Beige	0.54	0.6 – 0.83
Cris clair	0.62	
rouge	0.73	
Marbre		
Blanc	0.44	0.95
Sombre	0.66	
Granite rougeâtre	0.55	0.45

b. La couverture transparente :

La couverture est une fonction de protection de l'absorbeur, mais elle joue oubliera un rôle important dans le bilan thermique en réduisant les pertes de chaleur [12].

La couverture transparente du capteur permet d'accroître son rendement et d'assurer des températures de plus de 70°C. A la surface de la terre, le rayonnement solaire est composé de 42% de rayonnements visible. L'utilisation de la couverture transparente évite le refroidissement de l'absorbeur par le vent.

c. L'isolant :

L'absorbeur transfère l'énergie thermique du fluide, et pour le transfert idéal dans lequel la perte de chaleur est faible, ce qui contribue à augmenter l'efficacité du capteur, il faut essayer de l'isoler thermiquement par des isolants thermiques.

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

Afin de réduire au mieux les déperditions thermiques, l'isolant peut être placé :

- Partie avant de l'absorbeur : La lame d'air située entre la vitre et l'absorbeur se comporte comme un isolant vis-à-vis de la transmission de chaleur par conduction. Cependant, si l'épaisseur de cette lame est trop grande, une convection naturelle intervient, d'où une perte d'énergie. Pour les températures usuelles de fonctionnement du capteur plan, l'épaisseur de la lame d'air est de 2.5 cm. En plaçant deux vitres, on limite les pertes dues à la réémission ainsi que les pertes par conduction et par convection.
- Parties arrière et latérale : Afin de limiter les pertes thermiques à la périphérie du capteur, on peut placer une ou plusieurs couches d'isolant qui doit résister et ne pas dégazer aux hautes températures, sinon, il faut s'attendre à voir apparaître un dépôt sur la face intérieure de la couverture. En plus d'utiliser un isolant pour minimiser les pertes thermiques on peut augmenter la résistance de contact entre la plaque, l'isolant et le coffre en évitant de presser ces surfaces les unes contre les autres car dans le cas d'une forte rugosité, il peut

exister entre les deux faces en contact un film d'air qui empêche la chaleur de passer facilement par conduction [13].

Tableau I.3 : Caractéristiques des isolants les plus utilisés [14].

Type d'isolant	Conductivité en W/m. °c	Masse volumique Kg/m ³	Température maximale (°c)
Mousse de polyuréthane	0.03	32	110
Laine roche	0.038	55	150
Laine de verre	0.035	15	150
Liège expansée	0.044	120	110
PVC (mousse rigide)	0.041	30	90

d. Le coffre :

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

III.1.4. Différents types des capteurs solaires plans à air :

Les types de capteurs solaires sont très divers même si leur composition reste approximativement le même [15]. On distingue trois grandes catégories de capteurs plans à air :

- 1- à absorbeur à géométrie variable.
- 2- à absorbeur plan.
- 3- à absorbeur perméable.

a. A absorbeur plan :

L'absorbeur est une plaque en tôle plane, leur variété réside dans le nombre des veines d'écoulement d'air.

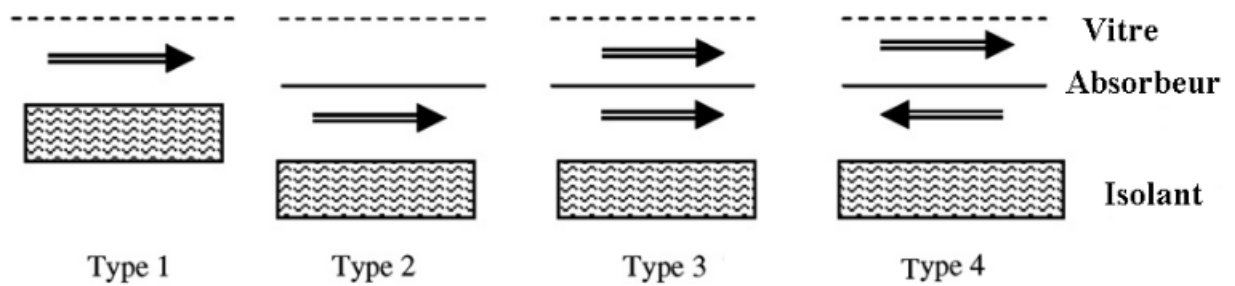


Figure I.6- Les types génériques principaux d'écoulements [16].

- Type 1 : écoulement d'air au-dessus de l'absorbeur.
- Type 2 : écoulement en dessous l'absorbeur.
- Type 3 : l'écoulement des deux côtés de l'absorbeur de même sens.
- Type 4 : l'écoulement des deux côtés de l'absorbeur au sens contraire.

b. A absorbeur perméable :

Théorétique de l'amélioration du rapport surface d'échange sur projection de la surface d'absorbeur consiste à utiliser un absorbeur poreux. La fibre de verre noircie, des écrans et étirés, de la laine d'acier ou des assemblages de lamelles peuvent être utilisée.

c. A absorbeur à géométrie variable :

Le transfert de chaleur ait lieu entre le dos de l'absorbeur et l'air. Si l'on veut utiliser le vitrage comme une garde pour réduire les pertes, el on peut augmenter la surface d'échange de chaleur soit en donnant un pouvoir émissif. Les formes les plus utilisées sont les suivants :

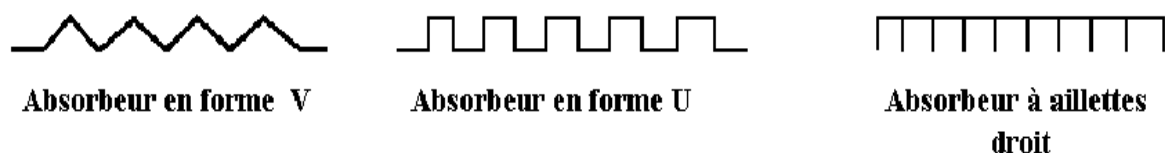


Figure I.7- différents type d'absorbeur [17].

III.2. Les capteurs à tubes sous vide :

Les capteurs solaires à tubes sous vide ont de meilleures performances que les capteurs plans pour un fonctionnement à haute température dans la plage de 77 à 170 °C. Ils sont bien adaptés aux applications de chauffage commerciales et industrielles ainsi qu'aux applications de refroidissement en régénérant les cycles de réfrigération. Ils peuvent également constituer une alternative efficace aux capteurs plats pour le chauffage domestique, en particulier dans les régions où il fait souvent nuageux (ex., New England, Allemagne, etc.).

Un capteur solaire à tube sous vide se compose de rangées de tubes de verre parallèles connectés à un tuyau collecteur. L'air à l'intérieur de chaque tube est éliminé pour atteindre des pressions de vide d'environ 0.001 mbar. Cela crée des conditions d'isolation élevées pour éliminer les pertes de chaleur par convection et rayonnement, pour lesquelles des températures plus élevées que celles des capteurs plans peuvent être atteintes. Une variante au vide est que le tube peut utiliser un gaz à faible conductivité thermique tel que le xénon. Chaque tube sous vide a une surface absorbante à l'intérieur. Selon le mécanisme d'extraction de la chaleur de l'absorbeur, les capteurs solaires à tube sous vide appartiennent à une classification à flux direct ou à caloduc.

Dans les tubes à écoulement direct, le fluide de travail s'écoule à travers l'absorbeur. Ces collecteurs sont classés en fonction de leurs joints de matériau de raccordement en verre-métal ou verre-verre et, en outre, en fonction de la disposition des tubes (tels que concentriques ou UT-pipe). A l'intérieur de chaque tube sous vide, une ailette métallique plate ou courbée est fixée à un tuyau absorbant en cuivre ou en verre. L'ailette est recouverte d'un film mince sélectif dont les propriétés optiques permettent une absorption élevée du rayonnement solaire et empêchent la perte de chaleur par rayonnement. Le type de collecteur verre-métal est très efficace, bien qu'il puisse subir une perte de vide due à la jonction de matériaux ayant des coefficients de dilatation thermique très différents.

Les tubes solaires verre-verre peuvent être utilisés dans des configurations de caloduc ou de tuyau en U. Ils ne sont généralement pas aussi efficaces selon le capteur solaire à flux direct/tube sous vide. Cependant, l'espace entre les tubes est évacué. La

vaporisation est atteinte autour de 25 à 300 ° C, donc lorsque le caloduc est chauffé au-dessus. Le but du vide est de passer facilement de phase liquide à la vapeur [18].

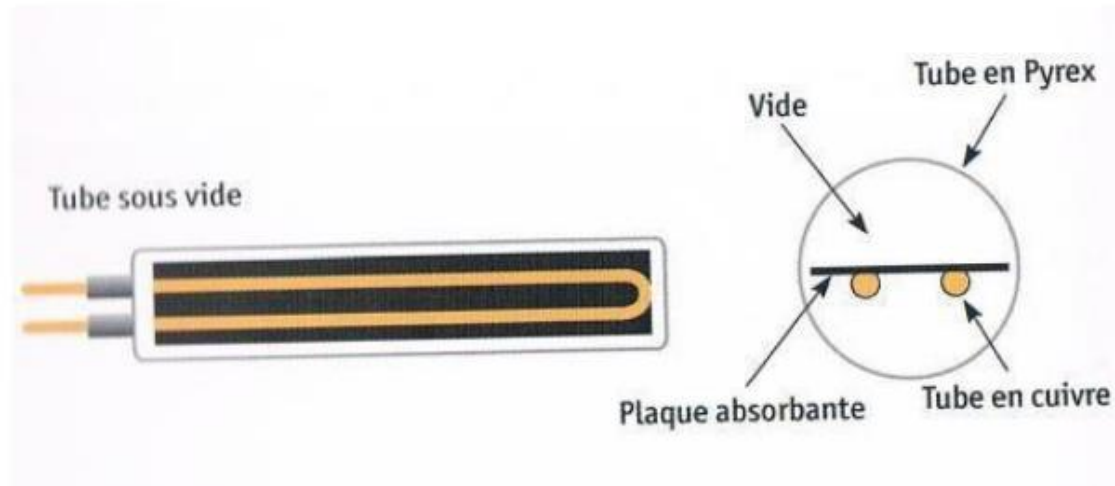
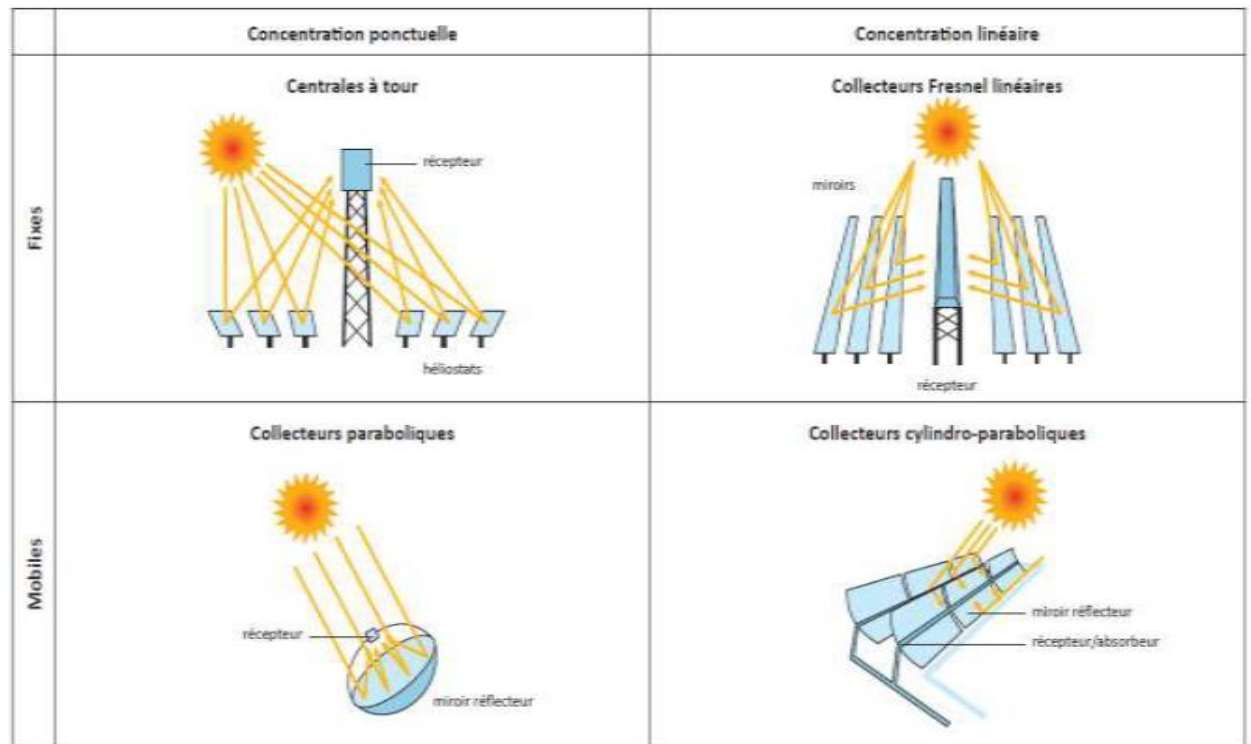


Figure (I.8) : les capteurs à tubes sous vide.

III.3. Les capteurs à concentration :

Ces capteurs utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro- paraboliques pour concentrer les rayons solaires respectivement dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire. Cependant, ces surfaces doivent suivre le mouvement du soleil [19].

Il existe deux manières de classer les capteurs solaires thermiques en fonction de leur rapport de concentration (C). Dans les termes les plus généraux, les capteurs solaires sont classés comme capteurs plans avec un rapport de concentration $C = 1$ et comme capteurs à concentration avec C supérieur à 1. Les types existants de collecteurs à concentration sont les concentrateurs à composé parabolique, à auge parabolique, à plat parabolique, Fresnel et à tour centrale, entre autres [18].



FigI.9 : capteurs à concentration [20].

III.3.1. Le concentrateurs paraboliques :

La parabole se retrouve dans de nombreuses situations du monde physique. En trois dimensions, une parabole trace une forme dite parabolique de révolution lorsqu'elle est tournée autour de son axe et comme un cylindre parabolique lorsqu'elle se déplace selon l'axe normal à son plan. Les capteurs solaires qui réfléchissent Les surfaces qui suivent une telle géométrie sont appelées concentrateurs paraboliques et creux paraboliques, respectivement. Si un récepteur est monté au foyer d'un réflecteur parabolique, la lumière réfléchi sera absorbée et convertie en une forme d'énergie utile. La réflexion vers un point ou une ligne et l'absorption subséquente par un récepteur constituent les fonctions de base d'un collecteur parabolique à concentration.

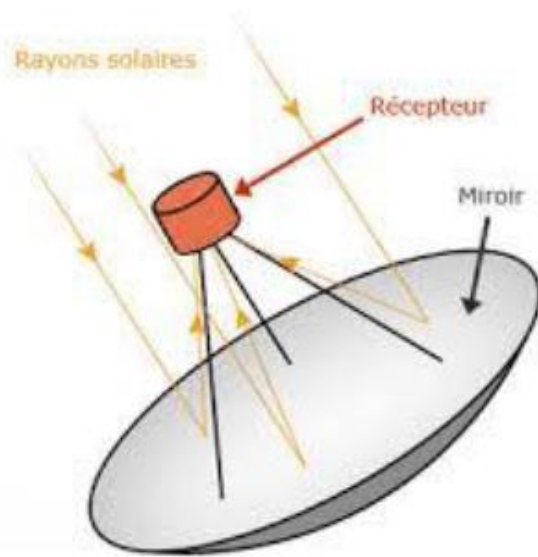


Figure (I.10) : Schéma d'un capteur à concentration type parabolique.

III.3.2. Les héliostats :

La collecte d'énergie dans une centrale solaire thermique à grande échelle est basée sur la concentration des rayons du soleil sur un point focal commun pour produire de la chaleur à haute température pour faire fonctionner un turbogénérateur à vapeur. La concentration de rayonnement est obtenue en utilisant des centaines de grands miroirs solaires appelés héliostats. Chaque héliostat dirige le rayonnement solaire vers le point le plus élevé d'une tour où se trouve le récepteur pour absorber la chaleur. Les récepteurs centraux se distinguent par des niveaux de puissance importants (1 à 500 Watts) et des températures élevées (540 à 840°C). Des fluides caloporteurs de haute qualité sont utilisés pour transporter l'Énergie vers une chaudière au sol pour produire la vapeur à utiliser dans un système traditionnel. Centrale électrique [20].

IV. Les panneaux photovoltaïques :

Un capteur solaire photovoltaïque est un module photovoltaïque qui fonctionne comme un générateur électrique de courant continu en présence de rayonnement solaire. Constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles électriquement, il sert de module de base pour les installations photovoltaïques et notamment les centrales solaires photovoltaïques.

Un panneau photovoltaïque produit de l'électricité à partir de la lumière du soleil, grâce à des cellules assemblées en modules. La lumière du soleil est composée de particules d'énergie appelées photons. Lorsque la cellule semi-conductrice absorbe suffisamment de lumière solaire, des électrons sont arrachés aux atomes de la cellule par les photons et créent un courant électrique.

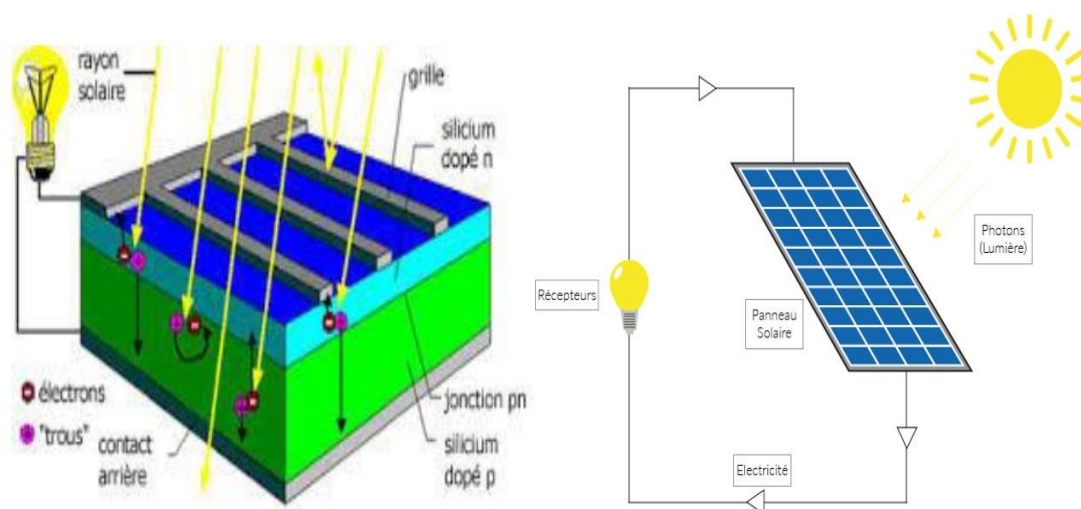


Figure I.11 : Principe de Conversion de l'Energie Solaire.

Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium qui est l'élément le plus abondant sur terre après l'oxygène, il apparaît sous forme de dioxyde SiO_2 , appelé plus communément silice. Le silicium est extrait à l'échelle industrielle par un mécanisme d'oxydoréduction, de la silice à faible teneur en oxyde de fer est mise en contact de composés carbonés, le tout étant porté à très haute température 3000°C dans des fours électriques à arc. On obtient du silicium de qualité métallurgique, pur à 98%, qui devient de qualité dite « électronique » après des opérations supplémentaires de purification.

Le silicium occupe une place prédominante au sein de l'industrie photovoltaïque grâce à ces nombreux avantages : disponibilité, qualités photovoltaïques assurant au final un bon rendement de conversion, non toxique. Enfin, il est aisé de modifier les propriétés électriques du silicium en introduisant dans la matrice cristalline des atomes dopants tels que le Bore (induisant un dopage de type P) et le Phosphore (induisant un dopage de type N). Le silicium se présente sous différentes formes dont les plus répandues sont le silicium poly cristallin, le silicium monocristallin et le silicium amorphe.

Les modules (ou panneaux) photovoltaïques sont constitués d'une plaque de verre transparent, d'une résine en EVA (Ethylène-Vinyl Acétate) enrobant les cellules, d'une couche ami-reflet, et d'un film de Tedlar, le tout placé dans un encadrement en aluminium. Le but de cette association est d'obtenir une tension suffisante grâce à la connexion en série de plusieurs cellules (souvent 2 groupes de 18 mis en parallèles), ainsi que de protéger les cellules et leurs contacts métalliques contre les conditions climatiques. Les tensions classiques des modules vont de 12V à 18V, pour des puissances allant de quelques watts à 150 Watts [21].

V. Séchage solaire:

Le séchage solaire est un mode intermédiaire entre le séchage artificiel et le séchage naturel. On peut atteindre avec ce mode de séchage une humidité finale plus basse que le séchage à l'air libre, mais relativement plus haute que le séchage artificiel. Les paramètres de séchage sont plus contrôlés que le séchage à l'air libre, mais restent moins précis que le séchage artificiel [22]. Les différents types des séchoirs solaires :

- séchoir solaire direct ;
- séchoir solaire indirect ;
- séchoirs mixtes.

V.1. Le séchoir solaire direct :

Le séchage solaire direct, de conception simple, utilise les rayons directs du soleil pour sécher les produits. Il est simple à réaliser. Se sont en général des constructions simples et robustes d'un châssis vitré où le vitrage sert à augmenter l'effet de serre. La circulation d'air se fait à travers le séchoir par tirage naturel dû au réchauffement (effet cheminée) ou par action du vent sur les ouvertures, ou à l'aide d'un ventilateur, du fait de la simplicité des modèles.

Ce type de séchage présente deux avantages :

- Les produits sont mieux protégés de l'attaque des mouches et autres insectes ;
- Ils sont soumis à un effet de serre au même titre qu'un absorbeur de capteur plan, d'où une amélioration du bilan radiatif et une élévation de la température du produit à sécher, ce qui permet de diminuer notablement les temps de séchage par rapport aux systèmes traditionnels.

V.2. Le séchoir solaire indirect :

Les produits à sécher ne sont pas exposés directement au rayonnement solaire. Ils sont disposés sur des claies à l'intérieur d'une enceinte ou d'un local en rapport avec l'importance des quantités de produits à sécher. L'air neuf est admis dans l'enceinte de séchage après passage dans des capteurs à air ou autre préchauffeur qui le réchauffent en fonction du débit utilisé. Ce type de séchoir est souvent plus compliqué et plus coûteux à construire que le séchoir direct. Il peut être réalisé à des échelles diverses, et il est surtout employé pour des produits très sensibles au rayonnement solaire ou dont le niveau de température doit être contrôlé, tel que les produits à vocation agricole comme les fruits et les légumes dont l'aspect, la couleur et la qualité nutritive et gustative doivent être mieux préservés.

Comme principe de fonctionnement, ce type de séchoir se compose généralement de deux parties : un collecteur qui converti le rayonnement solaire en chaleur, et une chambre de séchage qui contient le produit à sécher. L'air pénètre dans le collecteur qui s'échauffe ; sa température augmente et, par effet de convection naturelle, l'air chauffé monte à la chambre de séchage pour sécher le produit. La durée du séchage reste très variable selon les conditions météorologiques et la ventilation du séchoir.

V.3. Les séchoirs mixtes :

Dans ce type de séchoirs, la chaleur nécessaire au séchage est fournie par l'action combinée du rayonnement solaire touchant directement les produits et de l'air préchauffé dans des capteurs.

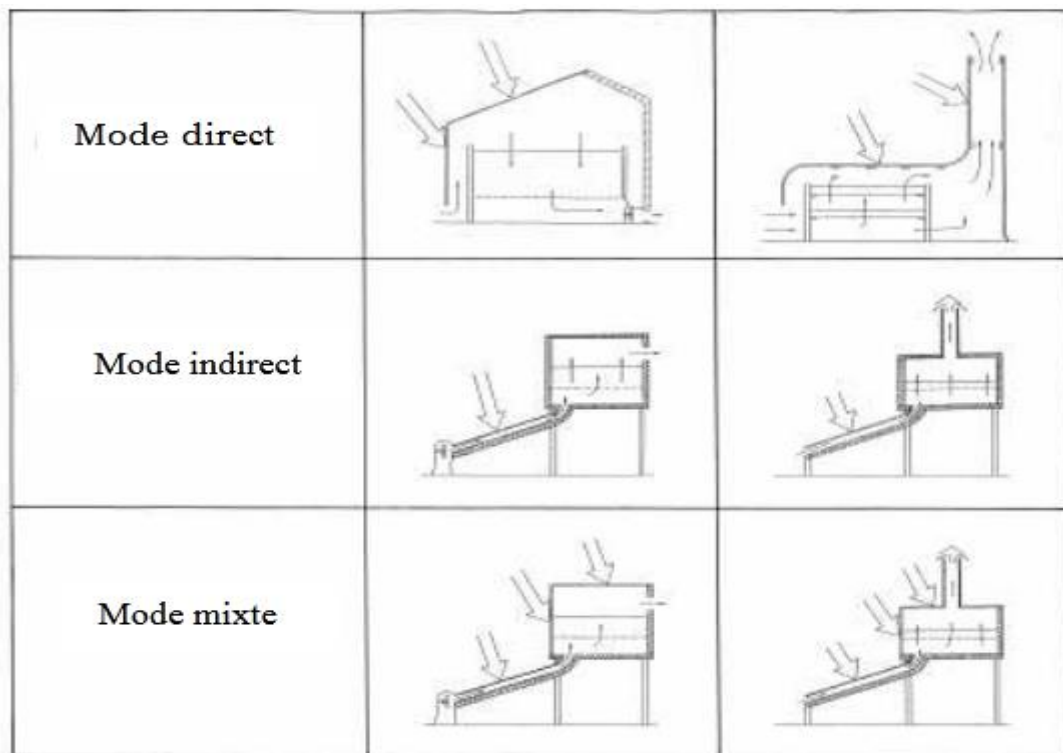


Figure I.12 : Les trois différents premiers modes des séchoirs solaires.

Chapitre II

Modélisation Mathématique.

Introduction:

On présente dans ce chapitre les équations gouvernantes du phénomène étudié, qui constituent essentiellement l'équation d'énergie, et les équations auxiliaires comme le rayonnement solaire,etc.

II-1- Equation d'énergie :

L'équation d'énergie est basée sur l'équation thermodynamique, elle est utilisée sous la forme suivante [26, 27] :

$$\rho \frac{Dh}{Dt} = \frac{Dp}{Dt} + \nabla(\lambda \nabla T) + \Phi \quad \text{II. (1)}$$

Où: Φ est la fonction de dissipation, représentant l'équivalent thermique de l'énergie mécanique liée à la dissipation visqueuse et les efforts de cisaillement :

$$\Phi = \frac{\partial V_{L_j}}{\partial x_j} - \mu \left[2 \left(\frac{\partial V_s}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial V_y}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial V_L}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial V_s}{\partial x} + \frac{\partial V_x}{\partial y} \right)^2 \right. \\ \left. \left(\frac{\partial V_u}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial c} \right)^x + \left(\frac{\partial V_t}{\partial z} + \frac{\partial V_u}{\partial x} \right)^* \right] + \lambda \left(\frac{\partial V_+}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_u}{\partial z} \right)^x \quad \text{II. (2)}$$

$\frac{Dh}{Dt}$: Représente la variation d'enthalpie (dérivée particulaire)

$\frac{Dp}{Dt}$: le taux de travail de pression.

$\nabla(\lambda \nabla T) = \text{div}(\lambda \text{grad } T)$: le transfert de chaleur par conduction dans le fluide

λ : est le coefficient de conductivité thermique.

En introduisant la chaleur massique à pression constante $Cp = \frac{dh}{dt}$ et le coefficient de dilatation cubique à pression constante γ , on écrit l'équation d'énergie sous la forme suivante:

$$\rho Cp \frac{DT}{Dt} - \gamma T \frac{Dp}{Dt} + \nabla(\lambda \nabla T) + \Phi \quad \text{II. (3)}$$

II-2- Rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est la quantité d'énergie provenant du soleil sous forme des rayonnements électromagnétiques composés de 'grains' de lumière appelés photons. Ces rayonnements se propagent à la vitesse de la lumière C . L'énergie, E , de chaque photon est directement liée à sa longueur d'onde λ par la relation [28] :

$$E = h \cdot C / \lambda \quad \text{II. (4)}$$

où, h , est la constante de Planck,

$$\text{II. (5)} h = 6.62 \times 10^{-34} \text{Js}$$

Le rayonnement solaire se compose des radiations électromagnétiques émises par les grandes longueurs ondes (radioélectriques). Les parties de ce spectre qui jouent un rôle dans l'interaction du rayonnement solaire avec l'environnement terrestre sont essentiellement les bandes infrarouge, visible et ultraviolette, ainsi que la gamme radioélectrique et celle des micro-ondes.

Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans le système solaire. Une moyenne de 1367 Watts atteint chaque mètre carré du bord extrême de l'atmosphère terrestre (pour une distance moyenne Terre-Soleil de 15.107 km). C'est ce que l'on appelle la constante solaire **[29]**. Lorsque ce rayonnement traverse l'atmosphère pour atteindre la surface terrestre, il est fortement atténué en raison des phénomènes d'absorption et de diffusion par les différents constituants de celle-ci.

La diffusion est une redistribution du rayonnement solaire qui interagit avec les molécules gazeuses, les gouttelettes et les aérosols dans toutes les directions sans changement de longueur d'onde.

Les phénomènes d'absorption et de diffusion par les nuages réduisent considérablement le rayonnement reçu au sol surtout pour les longueurs d'ondes supérieures à $1 \mu\text{m}$. La contribution de ces différents phénomènes est illustrée par la figure1.

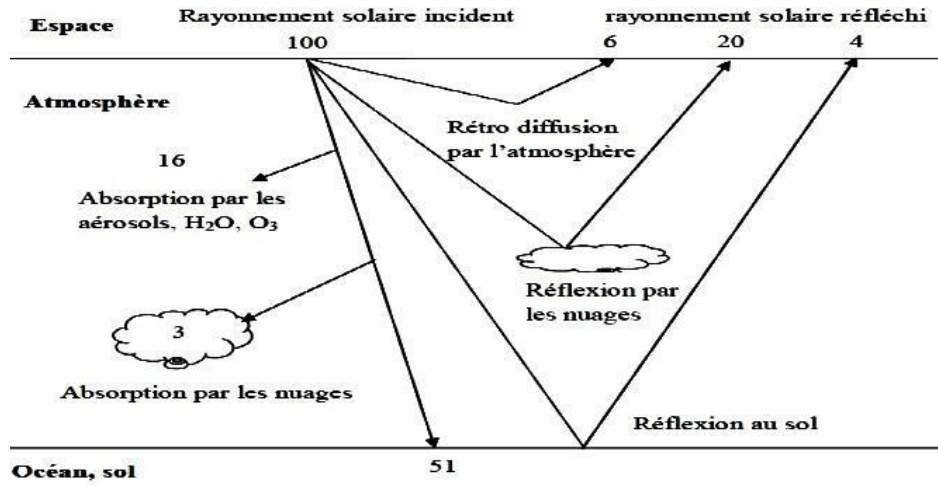


Fig II. 1: Processus de transmission, de diffusion, d'absorption et de réflexion dans l'atmosphère (les chiffres sont des pourcentages du rayonnement solaire incident) [30]

II-3- Sous état thermique statique:

On suppose que les vêtements sur le corps humain sont dans un état thermique stable et dans une condition de transfert de chaleur sèche. L'isolation statique totale est l'isolation thermique de la surface du corps à l'environnement, y compris tous les vêtements, les couches d'air fermées et la couche d'air limite. L'isolation statique des vêtements est l'isolation thermique de la surface de la peau à la surface extérieure des vêtements, y compris les couches d'air enfermées dans des conditions statiques, qui peut être exprimée par l'équation [31]:

$$I_{\text{tot_st}} = I_{\text{cl_st}} + \frac{I_{\text{a_st}}}{f_{\text{cl}}} \quad \text{II. (6)}$$

où, $I_{\text{cl_st}}$ est l'isolation statique des vêtements, $I_{\text{a_st}}$ est la résistance thermique statique de l'air et f_{cl} est le facteur de surface vestimentaire, c'est-à-dire le rapport entre la peau habillée et la peau nue superficies. Il peut être calculé en termes de vêtements statiques isolation ($I_{\text{cl_st}}$) [31], comme:

$$f_{\text{cl}} = 1 + 1.97 I_{\text{cl_st}} \quad \text{II. (7)}$$

L'unité de valeur d'isolation thermique des vêtements conduit à l'équation (8):

$$I_{\text{cl_st}} [\text{m}^2 \text{ K/W}] = 0.155 \cdot I_{\text{cl}} [\text{clo}] \quad \text{II. (8)}$$

Ensuite, l'isolation statique totale de l'équation (1) peut être ré-exprimée en termes de I_{cl} à partir de l'équation (9):

$$I_{\text{tot_st}} = 0.155I_{cl} + \frac{I_{a_st}}{1 + 0.305I_{cl}} \quad \text{II. (9)}$$

II-4- Relation de conservation de l'énergie :

Selon la loi de conservation de l'énergie, l'augmentation d'énergie interne du capteur par temps (Q_s) est égale à la différence entre l'énergie solaire rayonnante projetée sur la surface d'ouverture du capteur (IA_a) et la perte optique ($Q_{l,o}$), perte de chaleur ($Q_{l,h}$), et l'énergie utile délivrée par le collecteur (Q_u) (Equation (1)). Dans ce processus, $Q_{l,o}$ inclut l'énergie optique réfléchiée non seulement par le couvercle transparent mais aussi par l'absorbeur (Figure 4).

$$Q_s = IA_a - Q_{l,o} - Q_{l,h} - Q_u = (mc)dT_{\text{abs}}/dt$$

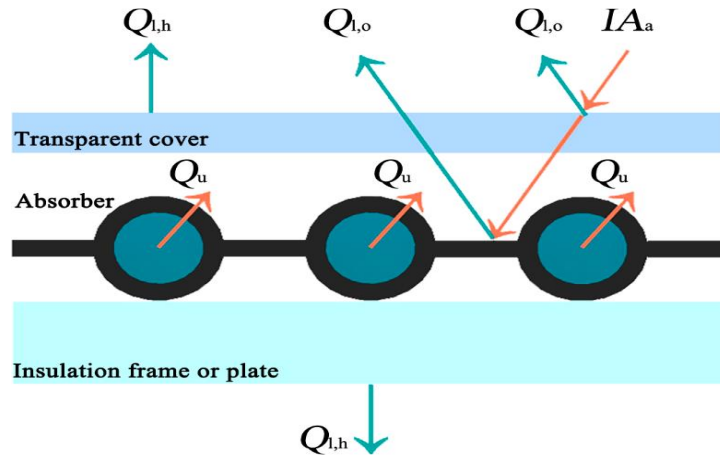


Figure II. 2. Relation de conservation d'énergie du solaire VTBC.

Dans des conditions instables, comme tôt le matin, la température de l'absorbeur (T_{abs}) augmente. Tous les composants du collecteur absorbent en permanence la chaleur et emmagasinent de l'énergie. Lorsque le soleil se couche le soir, T_{abs} baisse et les composants du collecteur libèrent en permanence de la chaleur et de l'énergie. Dans des conditions de régime permanent, Q_s vaut 0. Par conséquent, pour la commodité de l'analyse, les conditions d'état instable ne sont pas prises en compte dans cette étude. À ce stade, Q_u peut être exprimé par l'équation (10).

$$Q_u = IA_a - Q_{l,o} - Q_{l,h} = C_p q_m (T_{f,o} - T_{f,i}) \quad \text{II. (10)}$$

D'une part, $Q_{l,o}$ est principalement lié à la transmittance du couvercle transparent (τ) et à l'absorbance du revêtement absorbant (α) [32]. Dans l'équation (3),

$(\tau\alpha)_e$ est le produit effectif de transmission-absorption pour l'absorbeur, qui sera illustré plus en détail à la section 2.2.

$$Q_{1,o} = IA_a[1 - (\tau\alpha)_e] \quad \text{II. (11)}$$

D'autre part, lorsque T_{abs} est supérieure à la température ambiante (T_a), une partie de l'énergie de rayonnement solaire absorbée par le capteur est perdue dans l'environnement. Puisque T_{abs} est le plus élevé parmi toutes les parties du collecteur, $Q_{1,h}$ peut être exprimé par la différence entre T_{abs} et T_a (équation (12)).

$$Q_{1,h} = A_a U_L (T_{abs} - T_a) \quad \text{II. (12)}$$

II-5- Produit efficace de transmission-absorption pour l'absorbeur :

La transmittance (τ) se rapporte à l'énergie de rayonnement solaire traversant le couvercle transparent jusqu'à la surface de l'absorbeur tandis que l'absorbance (α) se rapporte à l'énergie de rayonnement absorbée par l'absorbeur. Selon la figure 5 [33], ces processus de transmission, d'absorption et de réflexion du rayonnement se répètent en continu entre le couvercle transparent et l'absorbeur. L'énergie solaire rayonnante absorbée par l'absorbeur dans ce processus peut être additionnée et le produit transmission-absorption pour l'absorbeur ($\tau\alpha$) peut être calculé à l'aide de l'équation (13). Dans cette équation, τ et α sont tous deux des valeurs mesurées. Parmi ceux-ci, τ est de 90 à 96 % pour le verre trempé ultra-clair couramment utilisé [34]. Cette étude utilise une valeur moyenne de 93 %. De plus, la valeur α d'un capteur solaire VTBC est de 0.94 [35]. La réflectivité de la couverture transparente au rayonnement diffusé est (ρ_d) liée au coefficient d'extinction (K) et à la longueur de parcours (L) du rayonnement solaire.

$$\begin{aligned} (\tau\alpha) &= \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1 - \alpha)\rho_d]^n \\ &= \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_d} \end{aligned} \quad \text{II. (13)}$$

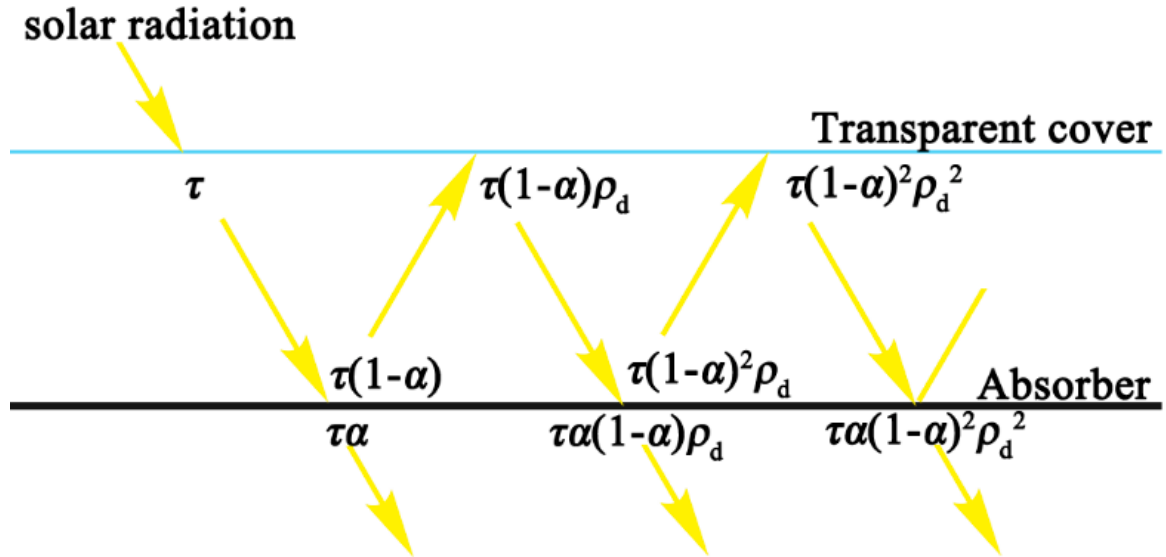


Figure II .3. Les processus de transmission, d'absorption et de réflexion du rayonnement dans le système transparent de recouvrement-absorption.

De plus, pour l'ensemble du capteur, une partie du rayonnement solaire absorbé par la couverture transparente n'est pas perdue. En effet, cette partie de l'énergie augmente la température du couvercle et réduit ainsi la perte de chaleur transférée de l'absorbeur au couvercle. Ce processus est égal à l'augmentation de τ . Le produit effectif transmission-absorption pour un absorbeur $((\tau\alpha)_e)$ avec N couches de couvertures transparentes peut être calculé selon l'équation (14). Parmi celles-ci, a_i est une valeur constante, comme le montre le tableau 1 [36]. L'émissivité d'une surface VTBC (ε_p) est de 0.9 [37]. La valeur de K pour une seule couverture ultra-claire est de 4 m.

$$(\tau\alpha)_e = (\tau\alpha) + \alpha_1(1 - e^{-K_1 L_1}) + \alpha_2 \tau_1(1 - e^{-K_2 L_2}) + \alpha_3 \tau_1 \tau_2(1 - e^{-K_3 L_3}) + \dots \quad \text{II. (14)}$$

La valeur de L_i [38] doit être calculée en fonction de l'épaisseur de la couche de couverture correspondante (δ_c) et de l'angle d'incidence du rayonnement solaire (θ_i) (Équation (15)). Pour un capteur solaire VTBC dans des conditions extérieures stables et avec un couvercle en verre ultra-clair monocouche [39], $(\tau\alpha)_e$ est principalement lié à δ_c . Dans l'équation (15), les valeurs de $\sin \theta_i$ et r sont 1 et 1,52, respectivement.

$$\begin{aligned} (\tau\alpha)_e &= 0.925 \times 0.94 + 0.27[1 - \exp(-4L_i)] \\ &= 0.8695 + 0.27(1 - e^{-6.9\delta_c}) \end{aligned} \quad \text{II. (15)}$$

II-6- Analyse des pertes de chaleur :

La perte de chaleur totale d'un capteur solaire VTBC ($Q_{1,h}$) est composée de la perte de chaleur par le haut (Q_t), le bas (Q_b) et les parois latérales (Q_e) (Équations 16)-(19), Figure 4) [40] .

$$Q_{1,h} = Q_t + Q_b + Q_e \quad \text{II. (16)}$$

$$Q_t = A_a U_t (T_{\text{abs}} - T_a) \quad \text{II. (17)}$$

$$Q_b = A_a U_b (T_{\text{abs}} - T_a) \quad \text{II. (18)}$$

$$Q_e = A_a U_e (T_{\text{abs}} - T_a) \quad \text{II. (19)}$$

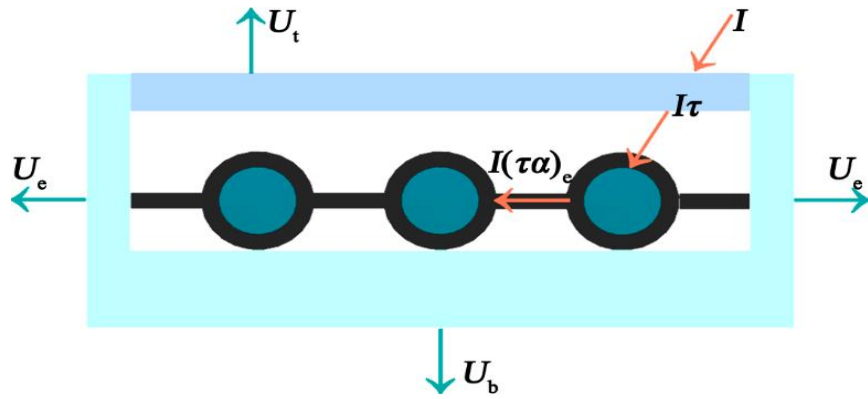


Figure II .4. Composition totale des pertes de chaleur d'un VTBC

En remplaçant les équations (16) à (19), l'équation (20) peut être obtenue [41]. U_L , U_t , U_e et U_b font référence au coefficient de perte de chaleur du collecteur total, du haut, des parois d'extrémité et du bas, respectivement.

$$U_L = U_t + U_b + U_e (A_e / A_a) \quad \text{II. (20)}$$

Pour calculer ces coefficients de perte de chaleur, il est nécessaire de définir le processus de transfert de chaleur du capteur en fonctionnement, qui comprend principalement (1) le transfert de chaleur radiatif (r) et convectif (conv) entre la surface extérieure du capot transparent (c1) et du milieu ambiant (a) ; (2) le transfert de chaleur radiatif (r) et convectif (conv) entre la surface intérieure du couvercle transparent (c2) et l'absorbeur (abs); (3) le transfert de chaleur par conduction (cond) entre l'absorbeur (abs) et le fond du collecteur (b); et (4) le transfert de chaleur radiatif (r) et convectif (conv) entre le fond (b) et les parois latérales (e) et l'environnement ambiant (a) [42] .

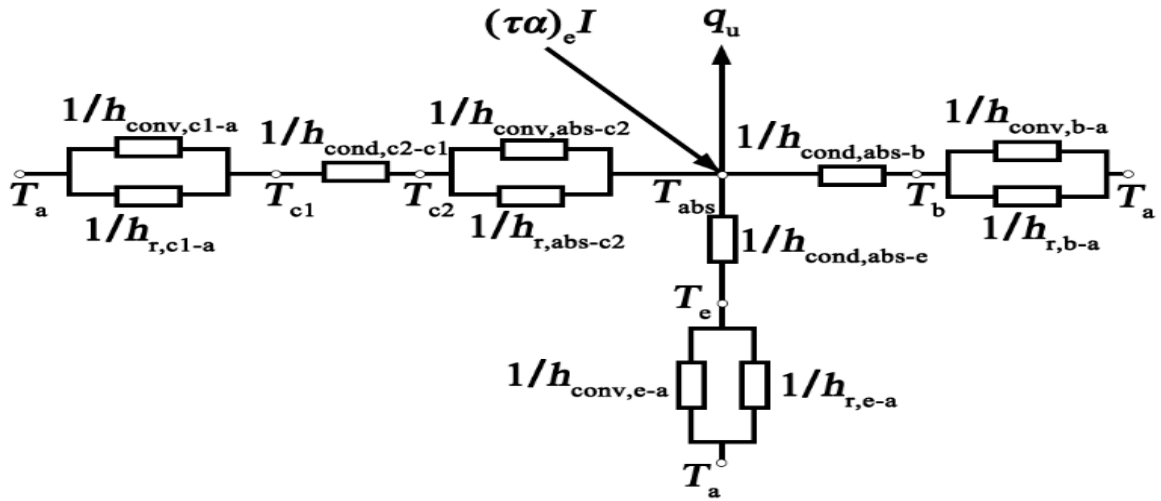


Figure II .5. Schéma du réseau thermique du capteur solaire V'BC en termes de résistance thermique de conduction, de convection et de rayonnement.

La figure 5 peut être simplifiée en termes de résistance thermique entre les deux côtés. Selon cette figure simplifiée, des formules empiriques pour calculer le coefficient de perte de chaleur au sommet du collecteur (U_t) sont proposées comme équation (21) [43]. Lorsque la température moyenne de la plaque chauffante est comprise entre T_a et 200°C , l'erreur des formules n'est plus que de $0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ [44] .

$$\begin{aligned}
 U_t &= \left[\frac{N}{\frac{c}{T_{\text{abs}}} \left(\frac{T_{\text{abs}} - T_a}{N + f} \right)^e + \frac{1}{h_w}} \right]^{-1} \\
 &+ \frac{\sigma(T_{\text{abs}} + T_a)(T_{\text{abs}}^2 + T_a^2)}{(\varepsilon_p + 0.00591Nh_w)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0.133\varepsilon_p}{\varepsilon_c} - N} \quad \text{II. (21)}
 \end{aligned}$$

où

$$\begin{aligned}
 c &= \begin{cases} 520(1 - 0.000051\varphi^2), & 0^\circ < \varphi < 70^\circ \\ 392.6, & 70^\circ \leq \varphi < 90^\circ \end{cases} \\
 f &= (1 + 0.0892h_w - 0.1166h_w\varepsilon_p)(1 + 0.07866 N) \quad \text{II. (22)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_w &= 5.7 + 3.8w \\
 e &= 0.43(1 - 100/T_{\text{abs}}) \quad \text{II. (23)}
 \end{aligned}$$

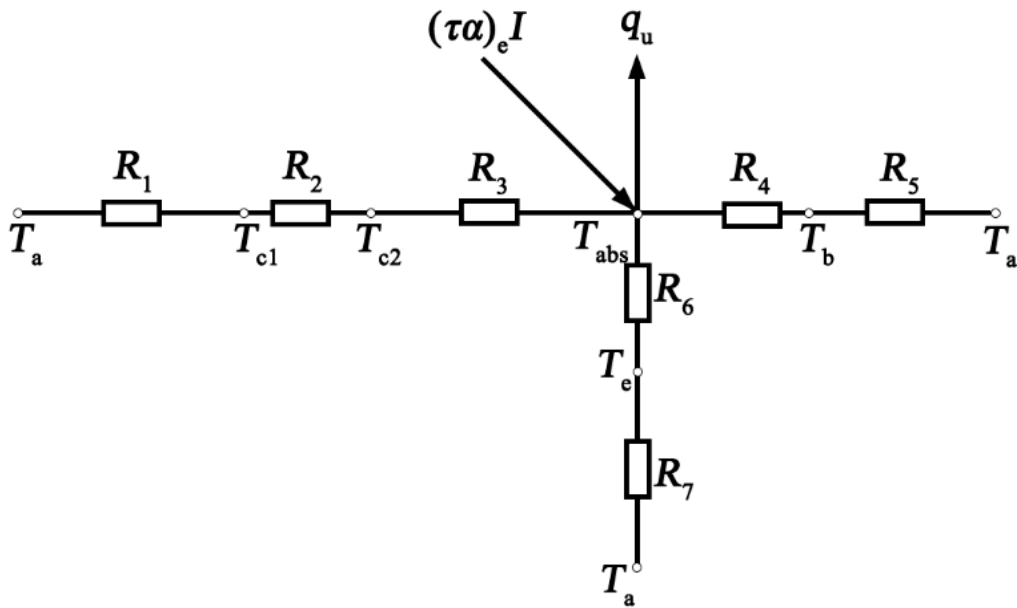


Figure II .6. Schéma du réseau thermique du capteur solaire VTBC en termes de résistance thermique entre les deux côtés.

La perte de chaleur au fond du capteur dépend des résistances thermiques R_4 de la couche isolante et R_5 au milieu ambiant. Comme R_4 est beaucoup plus grand que R_5 , son coefficient de déperdition par le bas peut être approximativement exprimé par $U_b = \lambda_b / \delta_b$. La perte de chaleur des parois latérales (U_e) du capteur est relativement faible et peut être considérée comme 2% de U_t [45].

II-7- Analyse de transfert de chaleur :

Les performances de transfert de chaleur d'un capteur solaire VTBC peuvent être évaluées par son efficacité instantanée (η) et son efficacité moyenne. Les étapes clés pour obtenir ces paramètres sont les calculs de la température de l'absorbeur (T_{abs}) et de la température moyenne du fluide (T_f).

II-8- Facteur d'efficacité :

Après avoir calculé le coefficient de perte de chaleur total du capteur (U_L) selon l'équation (20), $Q_{1,h}$ peut être calculé à l'aide de l'équation (24). Cependant, la perte de chaleur et la différence de température entre le collecteur et l'environnement ambiant (T_a) sont proportionnelles, et donc la température de l'absorbeur n'est pas facile à déterminer. Par conséquent, la praticabilité de l'équation (24) est limitée dans une certaine mesure. En revanche, les températures de fluide en entrée ($T_{f,i}$) et en

sortie ($T_{f,o}$) du collecteur sont plus faciles à mesurer. Ainsi, les performances du collecteur peuvent également être reflétées par $T_{f,i}$ et $T_{f,a}$, comme le montre l'équation [45].

$$Q_{1,h} = A_a F' U_L (T_f - T_a) \quad \text{II. (24)}$$

où

$$T_f = 0.5(T_{f,i} + T_{f,o}) \quad \text{II. (25)}$$

Pour le capteur solaire VTBC illustré à la figure 1 , son facteur d'efficacité (F') peut être calculé selon l'équation (26) [46]. La conductivité thermique de l'ailette VTBC (λ_{abs}) est de 1.256 W/mK . Par conséquent, F' est une grandeur physique liée à la structure géométrique du collecteur et est constante pour un collecteur avec une certaine structure et un certain débit de fluide. Le F' d'un bon capteur solaire plat est généralement 0.9 – 1.0 [47] .

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left\{ \frac{1}{U_L |D_o + (W - D_o)F|} + \frac{1}{h_1 \pi D_1} \right\}} \quad \text{II. (26)}$$

II-9- Facteur d'évacuation de la chaleur :

Après avoir introduit F^* , U_L peut être calculé sur la base de T_f . Cependant, bien que T_f puisse être mesuré, il n'est pas facile de le contrôler dans des tests réels. En effet, $T_{f,o}$ varie avec les conditions solaires. En revanche, $T_{f,i}$ est plus facile à mesurer. Par conséquent, dans cette étude, U_L est défini en fonction de $T_{f,i}$. Ensuite, le facteur d'évacuation de la chaleur (F_R) du collecteur est introduit (équations (27) et (28)) [48]. F_R est un paramètre sans dimension qui reflète globalement l'influence des performances de transfert de chaleur du collecteur et du fluide. Il n'est pas seulement lié à la structure géométrique et aux caractéristiques de transfert de chaleur du capteur, mais également affecté par le débit massique du fluide (q_m) , la capacité calorifique spécifique du fluide (C_p) et la surface d'ouverture du collecteur (A_a).

$$Q_{1,h} = A_a F_R U_L (T_{f,i} - T_a) \quad \text{II. (27)}$$

$$F_R = \frac{q_m c_p}{A_a U_L} \left[1 - \exp \left(- \frac{A_a L F'}{q_m c_p} \right) \right] \quad \text{II. (28)}$$

II-10- Température de l'absorbeur et température moyenne du fluide :

Ensuite, T_{abs} et T_f peuvent être obtenus selon les équations (29) et (30), respectivement [22].

$$T_{abs} = T_{f,i} + \frac{Q_u}{A_a F_R U_L} (1 - F_R) \quad \text{II. (29)}$$

$$T_f = T_{f,i} + \frac{Q_u}{A_a F_R U_L} \left(1 - \frac{F_R}{F'}\right) \quad \text{II. (30)}$$

II-11- Efficacité du capteur:

L'efficacité instantanée (η) est la performance thermique d'un capteur à un moment précis et peut être exprimée par l'équation (31) [49, 50] . Si l'on suppose que U_L est une constante qui ne change pas avec la température, y peut être exprimé par l'équation (32). Lorsque η vaut 0 , T_{abs} et T_f sont égaux à $T_{f,j}$, ce qui signifie que le collecteur atteint sa température de fonctionnement la plus élevée. Cette température dépend principalement de $(\tau\alpha)_e$ et L_L . Par conséquent, augmenter $(\tau\alpha)_e$ ou diminuer U_L sont des moyens efficaces d'améliorer la température de fonctionnement.

$$\eta = \frac{Q_u}{A_a I} = F_R \left[(\tau\alpha)_e - U_L \frac{T_{f,i} - T_a}{I} \right] \quad \text{II. (31)}$$

$$\eta = (\tau\alpha)_e - U_L \frac{T_{abs} - T_a}{I} = F' \left[(\tau\alpha)_e - U_L \frac{T_f - T_a}{I} \right] \quad \text{II. (32)}$$

Si $A = F_R(\tau\alpha)_e$, $B = F_R U_L$, $T_m^* = (T_f - T_a)/I$, alors $\eta = A - B T_m^*$. Pour un capteur solaire donné, A est le rendement d'interception, une constante qui dépend principalement des caractéristiques optiques du couvercle transparent et de l'absorbeur. Il représente le rendement le plus élevé que le collecteur peut théoriquement atteindre. B est le coefficient de perte de chaleur basé sur la température d'entrée et une constante qui dépend principalement de la structure du capteur et de la conception de l'isolation thermique. L'analyse théorique et l'expérience montrent que les performances thermiques d'un capteur peuvent être grossièrement évaluées lorsque A et B sont obtenus.

Chapitre III

Réalisation expérimentale d'un capteur solaire plan à air.

Introduction:

En Algérie, le secteur de chauffage de l'habitat absorbe la plus grande proportion de l'énergie consommée durant la période hivernale. La maîtrise de cette consommation constitue donc un enjeu central pour limiter les dépenses énergétiques des particuliers. Le présent chapitre, vise à présenter un système solaire ainsi qu'un capteur solaire plan à air, plus performant contribuant à une meilleure efficacité énergétique du secteur de l'habitat (Chauffage, Séchage...etc.).

Cette partie permettra de prendre soin de la partie la plus efficace du capteur solaire plan à air, à savoir que la veine d'air mobile : l'amélioration du transfert de chaleur total par l'introduction de plusieurs rangées aux pas serrés d'obstacles transversaux ont une faible inertie thermique, une petite épaisseur et un blocage considérable dites chicanes, ou bien des rugosités artificielles ont un petit blocage dites nervures, ces deux dernières lorsqu'elles sont introduites dans la veine d'air mobile, permettent de perturber l'écoulement, obligent le fluide de parcourir de longues trajectoires, de réduire les zones mortes, de perturber la sous couche visqueuse, et d'assurer par conséquent un séjour plus important du fluide caloporteur pour extraire plus de calories comparativement à un capteur solaire à air à conduit lisse.

Au cours de l'investigation expérimentale, des mesures expérimentales dans le laboratoire de mécanique de El-Oued seront effectuées, ce qui nous a permis d'avoir plusieurs informations sur l'évolution de tous les paramètres étudiés, et de les comparés de telle sorte à aboutir à des résultats souhaitables avec d'autres données expérimentales. Les objectifs principaux visés dans cette partie sont :

1. Proposer, tester et de développer des nouvelles solutions visant l'optimisation de l'efficacité énergétique du capteur solaire à air à travers l'implantation des obstacles au sein de l'écoulement de l'air.
2. Développer de nouvelles stratégies d'intensifications des échanges thermiques et d'améliorer le champ d'écoulement (vitesse et perte de charge) au niveau de la partie la plus active dans les capteurs solaires plans à air.

III.1. Préambule:

Nous nous intéressons dans cette partie à l'étude de l'effet des paramètres de conception sur les performances thermiques des capteurs solaires plans à air, principalement, les paramètres géométriques, thermo physiques et optiques et leurs impacts sur le fonctionnement des dispositifs de conversions thermique de l'énergie solaire. Parmi les solutions d'optimisation des performances thermiques des capteurs solaires plans à air, on distingue :

1. Préciser les dimensions d'un capteur solaire à air (simple et à double passe) qui garantissent de bonnes performances thermiques telles que : la longueur, la largeur, la distance entre l'absorbeur et les vitres, la hauteur optimale du canal effectif et l'isolation (Épaisseur, type ...)
2. L'utilisation deux types de chicane et un verre permettent d'améliorer sensiblement les performances par réduction des pertes thermiques par l'avant, tout en renforçant l'effet de serre entre les parois ; d'autre part le rendement optique se trouve rétrogradé.
3. L'accroissement de la surface d'échange totale par introduction de plusieurs rangées aux pas serrés d'obstacles métalliques dites ailettes, ou rugosités artificielles, dites également chicanes ou nervures.

Comme déjà mentionné auparavant, l'objectif principal de notre étude était de contribuer à l'optimisation des performances des capteurs solaires plans à air. Le facteur principal qui minimise l'efficacité d'un capteur solaire à air est la résistance du transfert de chaleur entre l'air qui s'écoule et la plaque absorbante. Plusieurs travaux scientifiques ont été faits [51-52] pour améliorer les échanges thermiques entre le fluide caloporteur (air) et la plaque absorbante. Donc, on présente Le protocole expérimental regroupe la description des conditions et le déroulement des tests sur un capteur solaire plan à air trois simple passe, entre l'absorbeur et la plaque absorbante en fer sans et avec vitrage. Le capteur a été réalisé et testé au niveau de l'Unité de Recherche en Énergies Renouvelables en Milieu Saharien EL-OUED "OUED SOUF" (9VW5+8G5, N48, El-Oued, Algérie).

Une série de tests a été effectuée sur le prototype, pour trois différentes valeurs de vitesse de l'air, allant de 0.04 m/s jusqu'à 1.15 m/s .

Dans le présent travail expérimental, les tests effectués nous ont permis de mesurer les températures, le rayonnement solaire global et la vitesse du vent pendant que le capteur solaire plan à air est orienté en plein sud, sachant que l'angle de l'inclinaison est de 30° . (figure III .1)



Figure III .1: Isolation thermique du capteur plan à air

L'isolation thermique vers l'arrière du capteur est assurée par la superposition d'une couche de polystyrène de 30 mm , tandis que l'isolation latérale est assurée par le fer de la bâtée d'une épaisseur de 1 mm comme indiqué par la (FIGURE III .1).

III.2. Conception et réalisation du capteur plan à air:

Le dispositif expérimental est fabriqué d'un simple conduit rectangulaire en bois, il a les dimensions de la section transversale interne de $1450 \times 600 \times 110\text{ mm}^3$. Ce conduit est composé de trois parties, à avoir une longueur de 1000 mm de la section testée, une longueur d'entrée et une longueur de dimensions 450 mm respectivement (Figure III .2). L'air entre d'abord dans la longueur d'entrée pour garantir le développement hydrodynamique de l'écoulement avant d'être acheminer vers la section de test, tandis que la longueur de sortie, est pour réduire les effets de bout, ce qui rend l'air très mélangé et hydrodynamiquement développé avant de quitter le dispositif expérimental définitivement.

Les longueurs d'entrée sont thermiquement bien isolées à l'aide d'une couche de polystyrène de 30 cm d'épaisseur, ensuite, le tout est recouvert d'une couche fine de fer pour empêcher que le rayonnement direct tombe sur les surfaces de ces longueurs et aussi, pour éviter que les points de mesures des températures de l'air circulant soient affectés comme le montre par la (FIGURE III .2).



FIGURE III .2: Isolation thermique des longueurs d'entrée.

Il y a deux type des chicanes sont fabriquées en fer de formes chanfreinés, placées transversalement sur le fond du canal d'écoulement (Partie testée uniquement) avec un pas entre eux de 8 *cm*, pour prolonger le parcours et la recirculation de l'air afin d'améliorer les performances thermiques. Les chicanes ayant un angle d'attaque de 30° (FIGURE III .3).



FIGURE III .3: Forme et emplacement des chicanes étudiées.

Dont les dimensions sont indiquées d'après le schéma montré sur la (FIGURE III .4), qui représente les différents composants de la partie testée du conduit et les dimensions détaillées de chaque composant.

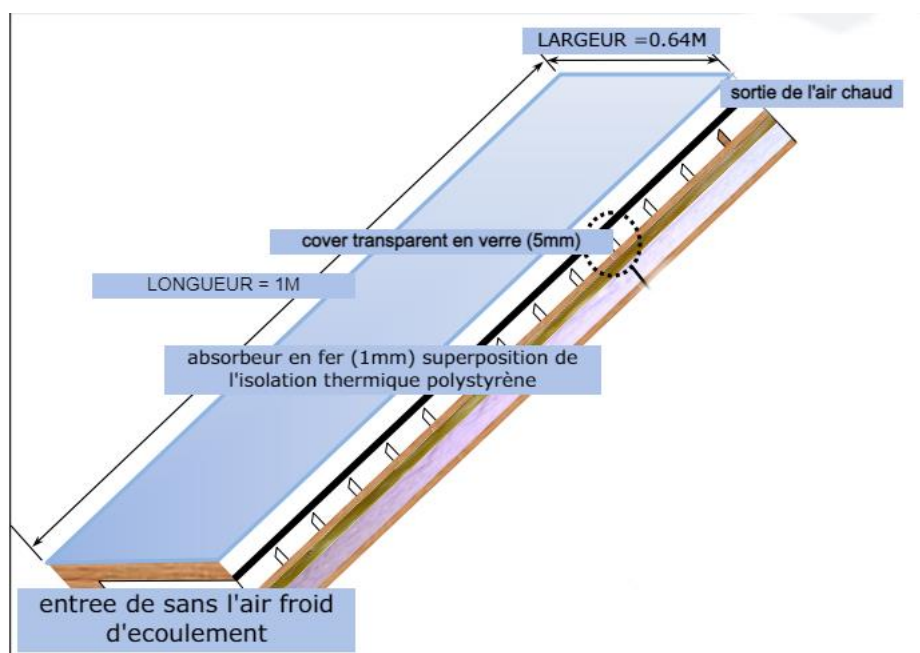


FIGURE III .4: Schéma des différents composants du capteur solaire à air plan

L'absorbeur est une plaque plane de fer de dimensions $1 \times 0.6 \times 10^{-3} m^3$ peint avec du noir mat pour minimiser la réflectivité. Un conduit de forme conique est utilisé pour collecter l'air et le diffuser sur la plus grande surface transversale possible du conduit, puis le repousser vers la longueur d'entrée (FIGURE III .5)



FIGURE III .5: Vue globale du conduit conique (collecte d'air)

III.3. Nombre de couvertures en verre:

Traditionnellement, deux ou plusieurs couvercles en verre sont utilisés pour réduire les pertes de chaleur convectives et radiatives, de l'absorbeur vers l'environnement. L'utilisation de plusieurs couvercles en verre réduit la quantité d'ensoleillement atteignant l'absorbeur en raison de l'absorption du rayonnement solaire par ces couvercles, ce qui peut conduire à une diminution de l'efficacité thermique. Par conséquent, à des températures basses, l'utilisation d'un seul couvercle donne un meilleur rendement par rapport à l'utilisation du double couvercle en verre, malgré que ce dernier (l'utilisation du double couvercle) soit conseillé à des températures plus élevées [53].

III.4 Instrumentation:

III.4.1. Mesure de température:

La mesure des températures au cours des expériences est assurée par des capteurs qui sont situés le long de la longueur et la largeur du collecteur. Pour cela, des thermocouples de type (K) [54] sont composés d'une partie positive en générale d'une couleur jaune constituée de 90% de Nickel et de 10% de Chrome, et une partie négative en générale de couleur rouge composée de 95% de Nickel, 2% d'Aluminium et de 1% de Manganèse. Ainsi, les deux fils produisent une différence de tension proportionnelle à la température ; l'acquisition des données est le responsable de convertir automatiquement le signal de tension en température (après un étalonnage bien sûr). et l'appareil (thermomètre) qui était connecté au thermocouple dans l'expérience est d'un type «LUTRON Model : BTM-4208SD » [55] (FIGURE III .6)

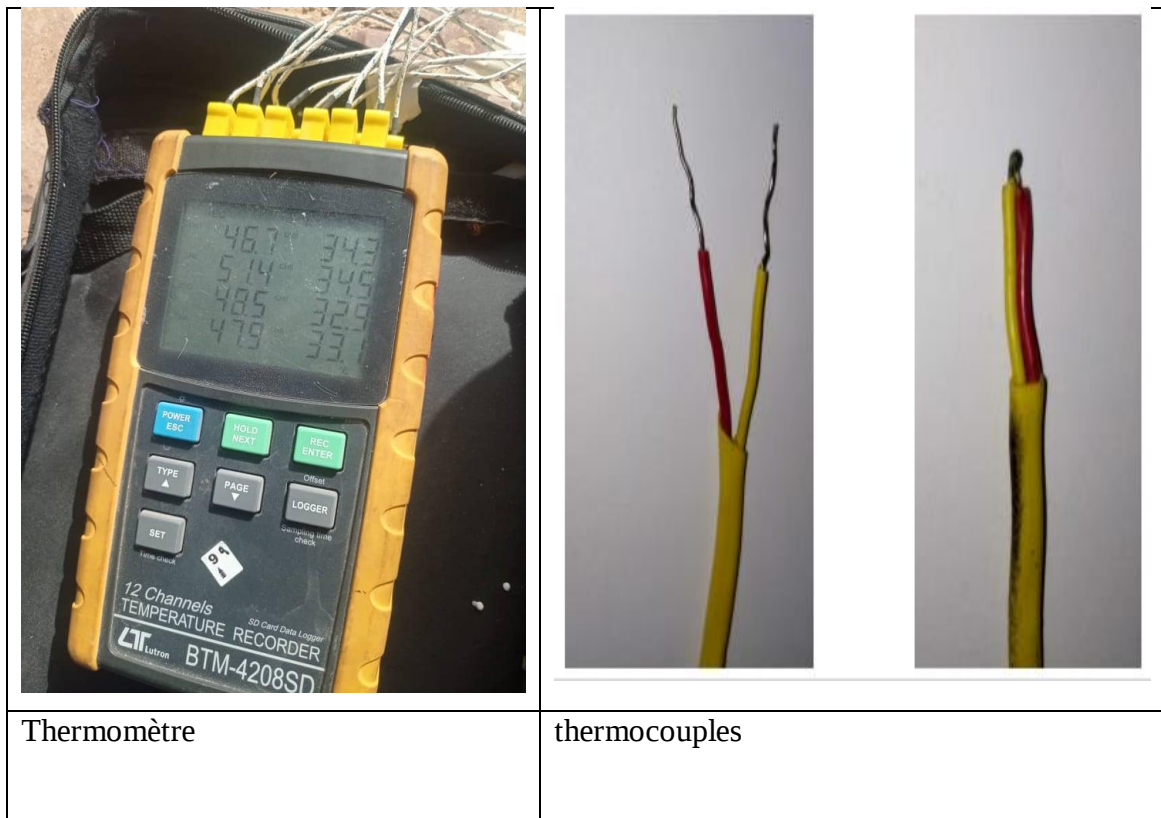


FIGURE III .6: Photographie de thermomètre et thermocouples

Des thermocouples type (K) étalonnés avec une précision de $\pm 1^{\circ}\text{C}$, ont été utilisés pour mesurer les températures de l'absorbeur, de l'air circulant ainsi que la température ambiante. Cinq thermocouples destinés pour mesurer la température de l'absorbeur, un sur le dos, et un autre thermocouple pour mesurer la température du couvercle, ont été rigidement adhésés sur les parois pour éviter de donner de fausses mesures (FIGURE III .6)

III.4.2 Mesure du Rayonnement solaire :

Le niveau de rayonnement solaire par mètre carré est un indicateur principal de la qualité du rayonnement solaire. La mesure de l'éclairement solaire est assurée par un Pyranomètre de type **PYR1307 [56]** (FIGURE III .7) étalonné avant les essais avec une sensibilité typique de 199.9 W/m^2 et 1.999 W/m^2 qui varie de moins de 5% telle que les conditions de fonctionnement considérées. Ce type de Pyranomètre a un double cristal pour le protéger de l'environnement et aussi pour éviter les pertes de chaleur par convection. Ainsi, la chaleur absorbée par la thermopile est convertie à un signal de tension proportionnel au rayonnement solaire. Le Pyranomètre employé est situé dans le même plan que le collecteur solaire.



FIGURE III .7: Photographie de Pyranomètre (solari-mètre)

III.4.3 Mesure de Vitesse d'air :

Pour mesurer la Vitesse du vent et le débit massique ainsi que la Vitesse , on a utilisé un anémomètre thermique de type «LUTRON Model : AM- 4206M» [57] destiné aux mesures des vitesses, des débits et des températures des gaz (FIGURE III .8).



FIGURE III .8: Photographie d'anémomètre en action

III.5. Assemblages des équipements et démarche expérimentale:

Assemblage des pièces et plan d'expérience (Protocole expérimental):

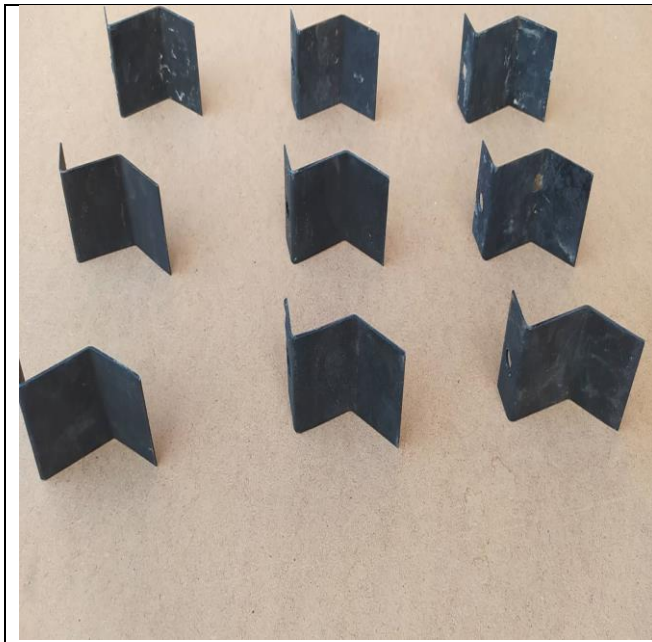
Comme indiqué sur la (FIGURE III .9), nous avons placé la boîte en bois (capteur solaire) à un angle de 30° degrés, puis avons placé la plaque de fer peinte en noir foncé sur le dessus de la boîte en bois et enfin placé le verre sur le dessus de la boîte. Nous avons construit une entrée unifiée à l'aide d'un morceau de tissu plastique épais et d'un canal en plastique à l'entrée sur le côté avec 5 trous. Nous avons également utilisé un morceau de polystyrène de 30 mm d'épaisseur sur le fond et une planche de bois dur de 3 mm d'épaisseur en dessous pour isoler le panneau. Le thermocouple était collé à la bouteille en quatre points depuis l'intérieur du panneau : un à l'entrée, deux au milieu sur la même ligne horizontale, distants d'environ 25 cm, et un à la sortie (là où la tête du thermocouple est suspendue dans l'air et ne touche rien).



FIGURE III .9: Capteur solaire muni des chicanes (prés pou utilisation)

Nous avons un seul panneau sans chicanes dans les essais, comme le montre la (FIGURE III .10), sachant que nous avons utilisé deux types de chicanes de deux manières différentes, la première étant régulière et la seconde irrégulière, Dans un motif régulier, nous plaçons 28 chicanes dans un panneau. Il y a 12 *cm* horizontalement entre l'un et l'autre, et 12.5 *cm* verticalement entre chacun d'eux. Panneau à chicanes 1 en série (pannée 2): On pose 28 les chicanes 1 dans un panneau de manière régulière 4 horizontalement entre l'une et l'autre il y a 12 *cm* et 7 verticalement il y a 12.5 *cm* entre chacune d'elle.

Nous avons utilisé le premier type de chicanes sous une forme irrégulière, similaire à l'expérience 3, avec seulement 14 chicanes placées dans chaque rangée. Au niveau des colonnes, on en met une avec quatre chicanes et l'autre avec trois on type (quinconce), et ainsi de suite, de manière à ce que l'espace entre une chicane et la suivante soit de 24 *cm* horizontalement et de 25 *cm* verticalement. Les quatre essais ont été menés entre le 19/04/ 2022 et le 03/05/2022.



Type de chicanes N°:01(angle)



Type de chicanes N°:02(tordu)

FIGURE III .10: présentation des deux type de chicanes testées

Tout au long de la période d'essai, la température de la voie variait de 19 à 34.1 degrés Celsius, et la vitesse du vent variait de 0.04 à 1.15 m/s et le rayonnement solaire variait de 220 à 1500 W/m^2 .

Un autre panneau extérieur thermocouple a été placé à l'ombre pour nous fournir la température extérieure. Pour enregistrer les changements de température toutes les 15 minutes, tous les fils du thermocouple sont reliés au thermomètre. et Pour prendre des mesures de l'évolution de l'intensité du vent toutes les 15 minutes, on allume l'appareil, puis on place le ventilateur de l'anémomètre à l'entrée du canal et on enregistre les résultats qui s'affichent sur l'écran de l'appareil.

Ensuite pour enregistrer les résultats de l'appareil pyranomètre, on allume l'appareil toutes les 15 minutes, puis on change l'unité de mesure en W/m^2 , puis on pose la partie réceptrice sur le dessus de la bouteille et on la pointe vers le smash et on enregistre la valeur qui apparaît sur l'écran de l'appareil

- **Expérience 1:**

Panneau simple sans chicanes (panneau 1): Nous avons fait cette expérience le 19/04/2022 et enregistré les résultats de 7h45 à 16h45. (FIGURE III .11).



FIGURE III .11: Capteur témoin (Première expérience)

- **Expérience 2:**

Nous avons enregistré les résultats de cette expérience (panneau 2) le 23 avril 2022 dans la période s'étendant de 7h45 à 16h45 (FIGURE III .12).



FIGURE III .12: Positionnement des capteurs de mesure (Deuxième expérience)

- **Expérience 3:**

On met les chicanes de type N°1 dans le panneau de manière irrégulière (quinconce). Nous avons enregistré les résultats de cette expérience (panneau 3) le 05/02/2022 pour une période de la journée s'étendant de 7h45 du matin à 16h45 après midi. (FIGURE III .13)



FIGURE III .13: Positions des chicanes (Troisième expérience)

- **Expérience 4 :**

On met les chicanes de type 2 dans le panneau de la manière habituelle (en série). Nous avons pris les résultats de cette expérience (panneau 4) le 05/03/2022 dans la période de 7h45 du matin à 16h45 après midi.(FIGURE III .14)



FIGURE III .14 : Chicanes vrillées positionnées en parallèle (Quatrième expérience)

III.6 Acquisition des données (l'enregistreur de données):

Grâce à ces dispositifs utilisés dans les expériences, nous effectuons des mesures toutes les 15 minutes et remplissons les données dans un tableau pré-imprimé pour enregistrer les résultats. Ensuite, nous apportons les résultats obtenus au laboratoire de mécanique et entrons les données dans le programme Microsoft Excel®.

Chapitre IV

Résultats & discussions.

Introduction:

Dans ce chapitre nous présenterons et discuterons les résultats obtenus suite à la série des expérimentations sur les capteurs solaires (collecteurs d'énergie solaire) plans à air, avec quatre différentes configurations. En sachant que ces expériences ont été menées à la région d'El-Oued (Oued Souf, Algeria) le mois d'avril 2022.

La température T1 représente la température à l'entrée du capteur. Alors que les températures T2 et T3 sont au milieu du capteur comme T2 est du côté est du capteur, tandis que T3 est du côté ouest du capteur. T4 représente la température à la sortie du capteur.

IV.1. Première configuration: Capteur témoins (sans chicanes).

IV.1.1 Distribution de la température à l'intérieur du capteur en fonction de la température ambiante:

Tableau IV.1: Résultats de la température ambiante et température du capteur n° 1.

Heurs	T1 (°c)	T2 (°c)	T3 (°c)	T4 (°c)	Tamb (°c)
7:45	23	23.3	24	22.3	20.3
8:45	28.7	32.2	32.1	28.4	21.6
9:45	37.5	46.3	43	53.6	24.6
10:45	51.7	56.5	52.9	45	27.5
11:45	53	62.3	52.3	55.5	27.8
12:45	44.4	53.8	59	53.8	29.7
13:45	51.4	63	60	63.1	31.2
14:45	43.9	49.5	56.7	51.3	32.4
15:45	44.3	53	53.1	55.1	31.6
16:45	42.1	50.6	49.7	49.1	32.9

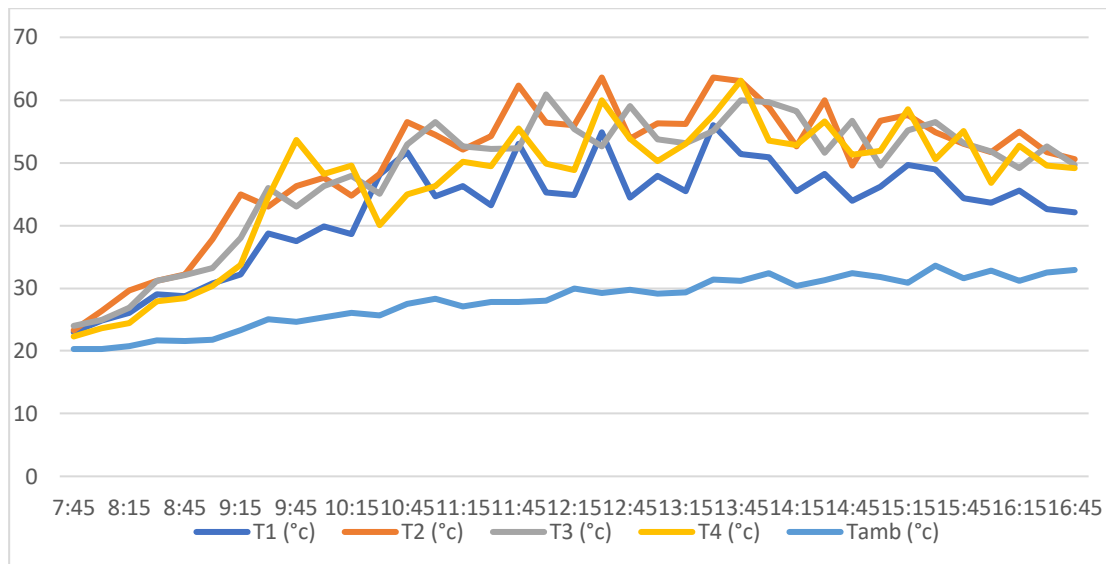


Figure IV.1: Comparaissant les températures du capteur1 à la température ambiante.

A travers ce graphique (Figure IV.1), nous notons que la relation entre la température du capteur et la température ambiante est directe. Ce qui signifie que la température dans le capteur augmente à mesure que la température ambiante augmente, et cela signifie que le capteur donne une quantité de chaleur à l'air et augmente sa température.

L'écart est considérable entre T_2 et T_3 dans les premières heures car le thermocouple 2 est directement en face des rayons du soleil, tandis que le point 3 est à l'ombre car le soleil ne s'est pas complètement levé.

Quant au thermocouple 4, ce n'est presque pas la température la plus élevée la plupart du temps car elle est proche de la température ambiante en plus de la présence d'entrefers de diamètre important en sortie de capteur.

IV.1.2. Effet du débit d'air entrant ($\dot{m}$) sur la température moyenne du capteur (T_m):

Tableau IV.2: Le débit massique d'air après chaque heure avec la température moyenne du capteur n ° 1.

Heurs	T_m (°c)	$\dot{m}(\text{g/s})$
7:45	23.15	1.03772782
8:45	30.35	1.68851593
9:45	45.1	2.05307886
10:45	51.525	2.44650838
11:45	55.775	2.726497
12:45	52.75	2.35868941

13:45	59.375	2.9281489
14:45	50.35	3.00983837
15:45	51.375	2.64502945
16:45	47.875	1.11743699

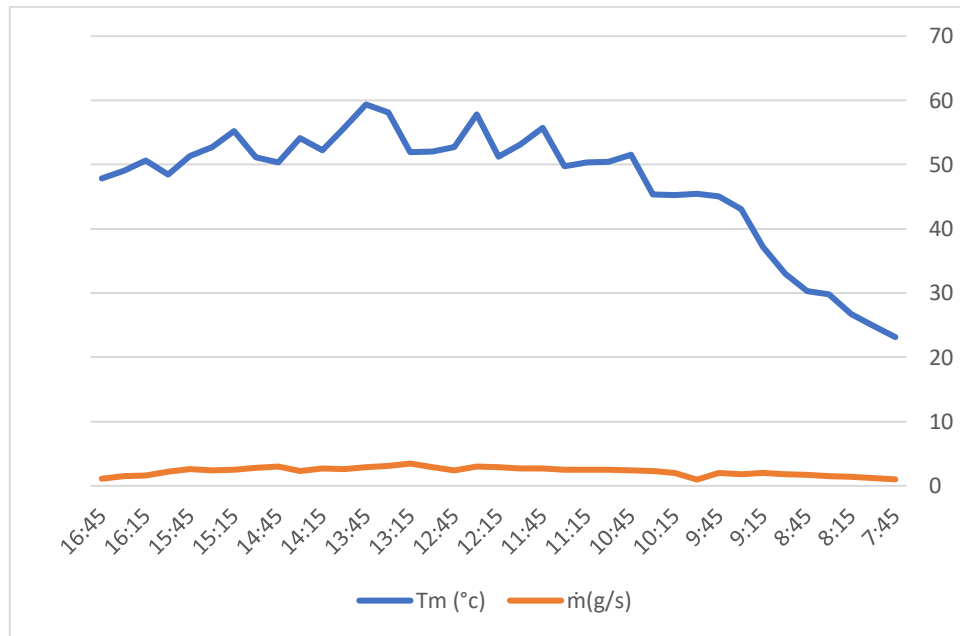


Figure IV.2: Relation entre la température moyenne du capteur#1 et le débit d'air entrant.

Il est évident à travers la courbe que la relation entre la température moyenne (T_m) du capteur et le débit d'air ($\dot{m}$) est une relation inverse, et c'est parce que l'air entrant à une température plus basse par rapport à l'intérieur du capteur.

Plus la valeur du débit d'air (vitesse de l'air) est élevée, plus la température moyenne à l'intérieur du capteur est basse. Puisque le régime n'est pas établie.

IV.1.3. Efficacité du capteur témoins (première configuration):

Tableau IV.3: Les valeurs du flux de chaleur solaire et du flux de chaleur pour le capteur #1 après chaque heure.

Temps	T_m (°C)	Φ (W)	Φ_s (W)
7:45	23.15	1.042916	76.2
8:45	30.35	5.939355	238.2
9:45	45.1	33.21984	376.8
10:45	51.525	11.80196	474
11:45	55.775	25.4832	540

12:45	52.75	34.60905	570.6
13:45	59.375	34.43064	566.4
14:45	50.35	38.71856	525.6
15:45	51.375	28.70915	456

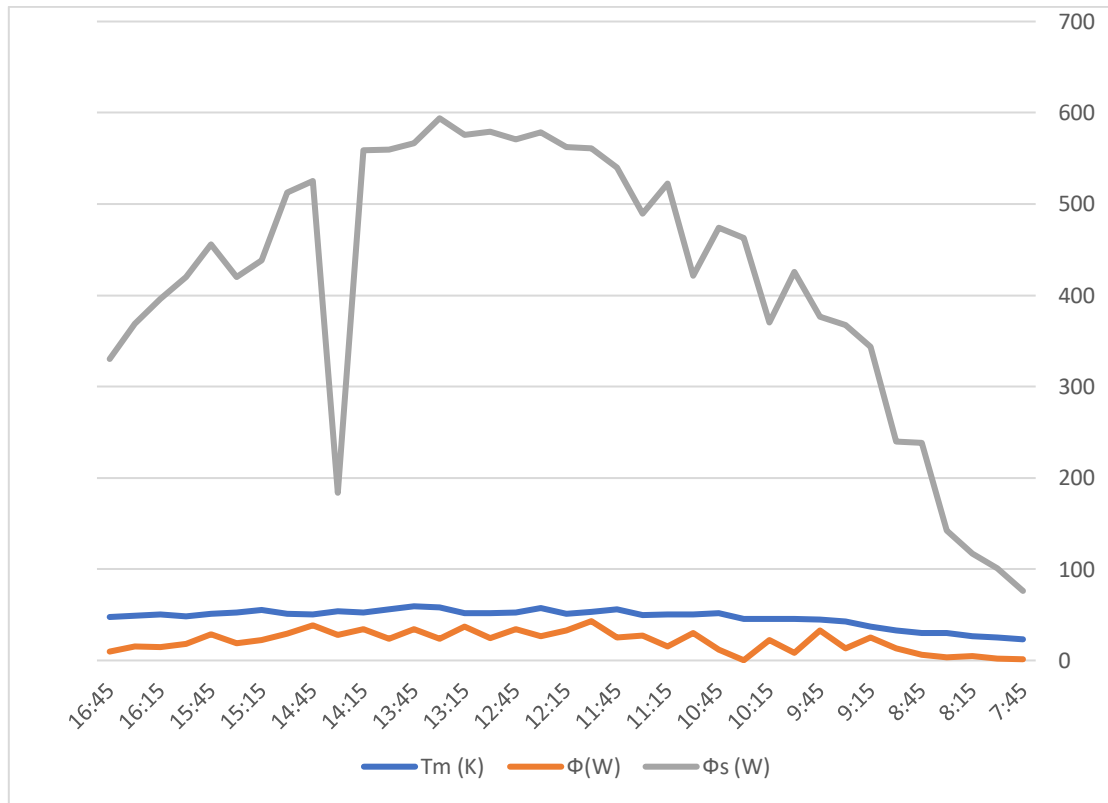


Figure IV.3: Efficacité du capteur témoin.

Il est normal que la température moyenne du capteur augmente lorsque la valeur de flux de chaleur Φ donnée augmente.

Mais comme le flux de chaleur Φ du capteur est lié au flux de chaleur solaire Φ_s , nous expliquons cette fluctuation de la courbe car il y a une fluctuation du rayonnement solaire due à la présence de certains nuages, ce qui affecte la quantité d'énergie fournie.

Cette déclaration montre la quantité de flux de chaleur dont le capteur a bénéficié Φ_s par rapport à la quantité de flux de chaleur qui lui a été transmise Φ .

A travers la courbe, nous remarquons un grand écart entre le flux de chaleurs données Φ_s et le flux de chaleur utilisé Φ , où la valeur la plus élevée de flux de chaleur présentée par le capteur était de $\Phi = 43$ W, correspondant à $\Phi_s = 561$ W du flux solaire à midi (12:00).

On peut dire que le capteur n°1 donne de faibles résultats a priori, car le rendement moyen de ce capteur au total est d'environ 5%.

Le faible rendement du capteur n°1 peut être dû au fait qu'il n'est pas bien isolé thermiquement, ou cela peut être dû aux trous en sortie du capteur, et cela peut aussi être dû au manque d'air restant plus longtemps à l'intérieur du capteur pour gagner une quantité de chaleur, et pour cela nous essaierons de le garder plus longtemps à l'intérieur du capteur.

IV.2. Deuxième configuration: Capteur avec chicanes à un angle distribué en parallèle.

IV.2.1. Distribution de la température à l'intérieur du capteur avec la température ambiante:

Temps	T1 (°c)	T2 (°c)	T3 (°c)	T4 (°c)	Tamb (°c)
7:45	30.6	32	36	32.5	20.2
8:45	45.5	47.6	51.4	44.6	24
9:45	50	58.5	61.4	55.4	27
10:45	52.1	62.9	61.1	53.6	28.5
11:45	57.9	71.5	67.6	70.6	30.6
12:45	60.2	73.2	68.5	76.9	32.2
13:45	57.6	69.6	65.3	65.3	32.7
14:45	56.6	66.1	62.7	52.9	34.1
15:45	49.1	57.7	53.4	46.7	32
16:45	43.6	47.8	45.2	42.6	29

Tableau IV.4: Résultats de la température ambiante et température du capteur n° 2.

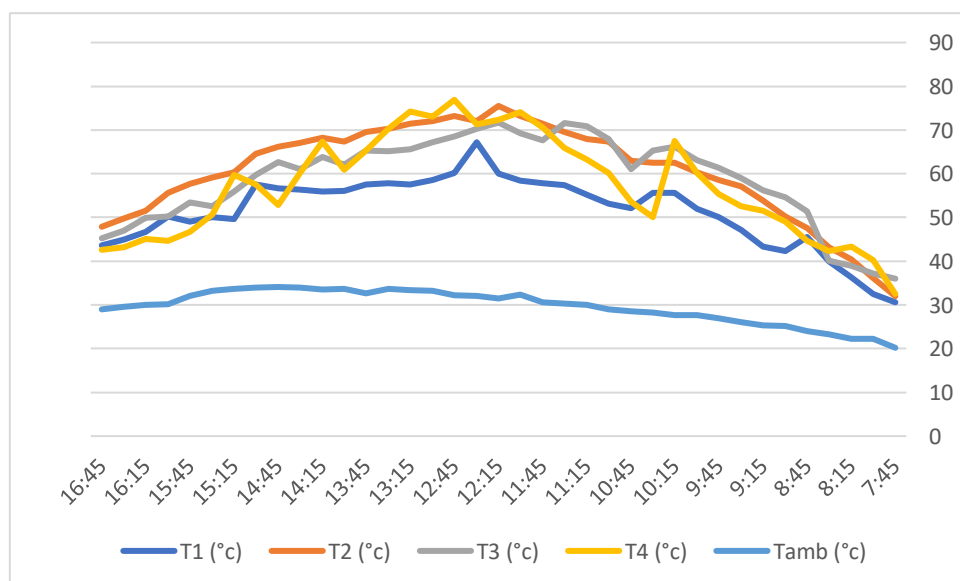


Figure IV.4: Comparaisant les températures du capteur #2 à la température ambiante.

La représentation graphique de la figure IV.4 montre que les températures à l'intérieur du capteur ont une allure comme celle de la température ambiante.

La diminution de la température ambiante conduit à une baisse de la température au niveau des différentes composants du capteur (vitre, absorbeur, fluide) et par conséquent à une décroissance du rendement du capteur.

La température du capteur est bien supérieure à la température ambiante car on voit que dans la zone 1 (thermocouple T_1) la température est environ 80% supérieure à la température ambiante, alors que l'on voit que les températures T_2 et T_3 sont proches et ont les températures les plus élevées à l'intérieur du capteur.

Quant à la température la plus élevée du capteur, elle était enregistrée au thermocouple 4 à 12h45, où elle atteignait $T_4 = 76,9^\circ\text{C}$ par rapport à une température ambiante de $32,2^\circ\text{C}$, mais le problème demeure que les valeurs fluctuent au T_4 et non à la valeur la plus élevée en moyenne, et cela peut être attribué au fait que ce thermocouple 4 subit plus de perte de puissance en raison de grands écarts dans la sortie du capteur.

IV.2.2. Effet du débit d'air entrant ($\dot{m}$) sur la température moyenne du capteur (T_m):

Tableau IV.5: Le débit massique d'air après chaque heure avec la température moyenne du capteur n ° 2.

Heurs	T_m ($^\circ\text{C}$)	$\dot{m}$ (g/s)
7:45	32.775	0.16751314
8:45	47.275	1.27946218
9:45	56.325	1.71093723
10:45	57.425	2.17031058
11:45	66.9	2.71264889
12:45	69.7	3.36311891
13:45	64.45	3.87080775
14:45	59.575	3.96602693
15:45	51.725	2.36613122
16:45	44.8	1.81324944

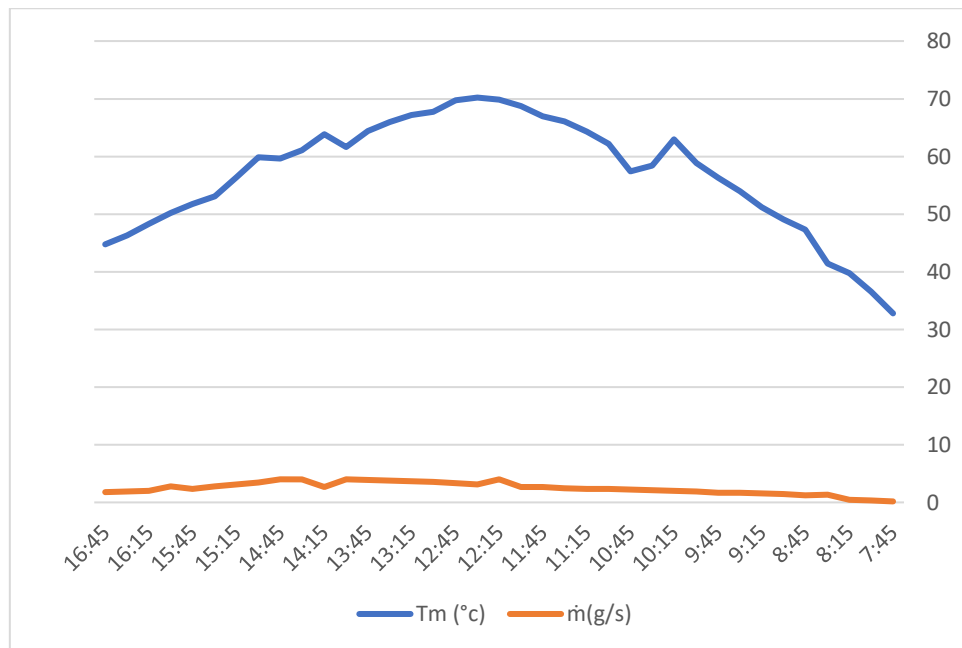


Figure IV.5: Relation entre la température moyenne du capteur #2 et le débit d'air entrant.

Le graphique précédent montre l'effet de l'accroissement du débit d'air sur les températures du capteur.

En effet, l'augmentation de la vitesse du vent engendre une baisse de la température de la vitre d'où un accroissement de l'écart entre la température de l'absorbeur et de la vitre.

IV.2.3. Efficacité du capteur #2:

Tableau IV.6: Les valeurs du flux de chaleur solaire et du flux de chaleur pour le capteur #2 après chaque heure.

Heurs	Tm (°C)	Φ (W)	Φ_s (W)
7:45	32.775	0.90909383	273
8:45	47.275	7.586571	348.6
9:45	56.325	19.6022079	511.2
10:45	57.425	23.5565511	579.6
11:45	66.9	37.076485	600
12:45	69.7	56.4449063	583.2
13:45	64.45	46.6819414	534
14:45	59.575	37.8656421	453.6
15:45	51.725	20.4504721	334.8
16: 45	44.8	7.65372589	128.4

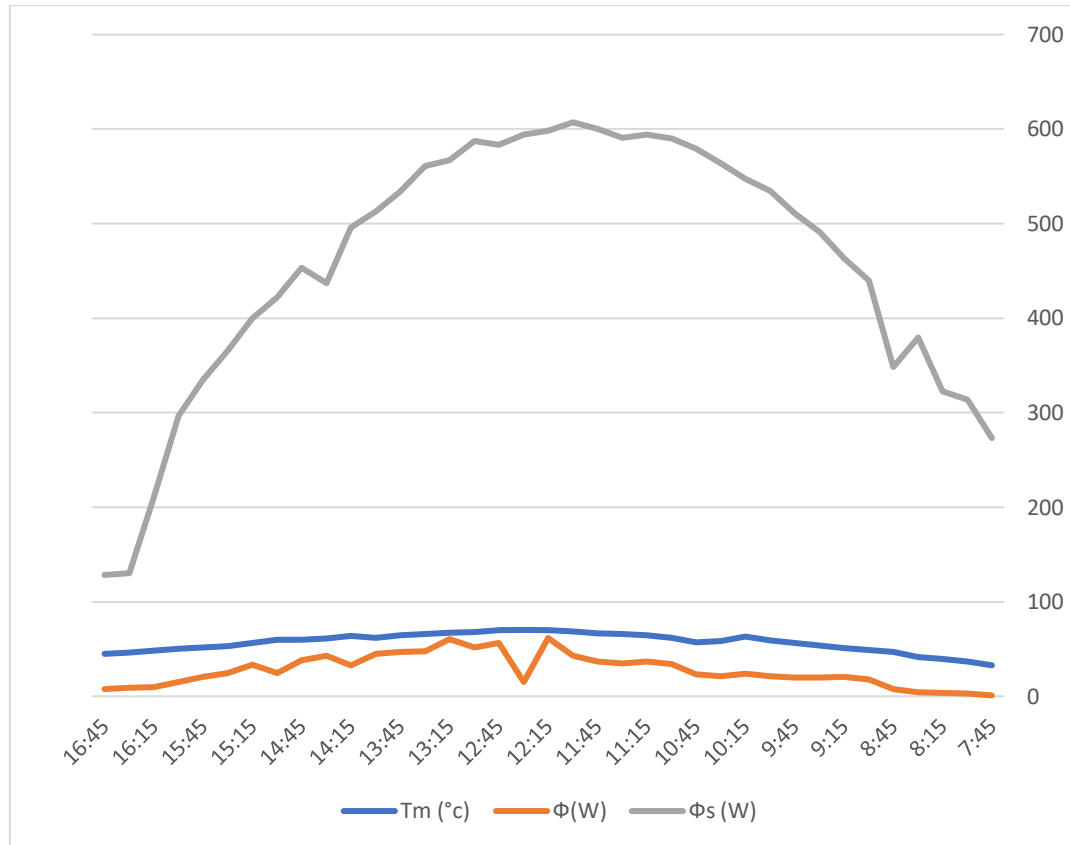


Figure IV.6: Efficacité du capteur de deuxième configuration.

La courbe montre les valeurs de flux de chaleur Φ qui sont données à l'air afin d'augmenter la température moyenne du capteur.

Le flux de chaleur du capteur Φ est la valeur de l'énergie thermique que le capteur donne à l'air à l'intérieur pour modifier la température à l'entrée T_1 où la valeur maximale du flux de chaleur était de 61.67W au temps 12h15, tandis que la valeur moyenne du flux de chaleur tout au long de la journée était de 27.42W.

La réfraction qui s'est produite à l'heure 12h30 peut s'expliquer par le fait que le thermocouple 1 a atteint sa température maximale, et presque toutes les températures à l'intérieur du capteur étaient de la même valeur, ainsi que le manque de débit à l'entrée du capteur, ce qui a contribué à augmenter les températures au thermocouple 1.

Nous expliquons également la diminution des valeurs de flux de chaleur Φ , qui a été suivie d'une diminution de la température moyenne du capteur, que le flux de chaleur Φ du capteur est lié à la valeur du flux de chaleur solaire Φ_s , qui à son tour est lié au rayonnement solaire.

La courbe qui montre l'efficacité du capteur en fonction de la quantité de flux de chaleur qu'il reçoit Φ_s et de la quantité de flux de chaleur Φ que le capteur peut donner à l'air pour augmenter sa température.

On note que les valeurs de flux de chaleur Φ sont meilleures que le premier capteur, mais les valeurs de flux de chaleur solaire Φ_s sont très élevées par rapport au premier, qui atteignait une valeur maximale de 607W à l'heure 12h00. Cela indique que le capteur n° 2 est mauvais, car le rendement moyen de ce capteur est d'environ 6%, ce qui indique son inefficacité, ce qui peut être attribué aux raisons que nous avons mentionnées précédemment.

IV.3. Troisième configuration: Capteur avec chicanes à un angle distribué en quinconce.

IV.3.1.Relation entre la distribution de la température à l'intérieur du capteur et la température ambiante:

Tableau IV.7: Résultats de la température ambiante et température du capteur n° 3.

Temps	T1 (°c)	T2 (°c)	T3 (°c)	T4 (°c)	Tamb (°c)
7:45	19.8	21.3	22.5	23.2	19
8:45	43.6	42	43.2	44.8	24.5
9:45	47.4	58.3	58.1	63.7	28
10:45	53.2	63.7	63.3	63.1	28.6
11:45	55.5	68.9	67.2	66.4	29.7
12:45	46.6	65.1	57.3	67.7	29.6
13:45	50.2	62.3	59.6	63.5	30.5
14:45	50.1	53.4	52.3	55.9	31.6
15:45	46.2	49.6	50.7	52.9	29.7
16:45	43.8	49.1	48.8	49.6	29.4

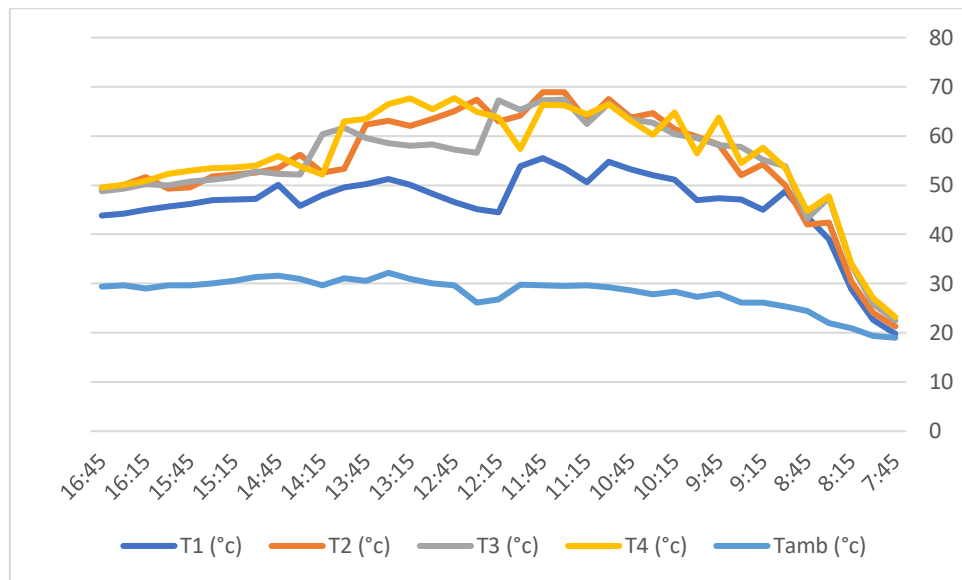


Figure IV.7: Comparaissant les températures du capteur3 à la température ambiante.

En représentant le graphique, l'effet de la température ambiante sur la température du capteur est clair pour nous.

L'air qui entre dans le capteur à une température égale à la température ambiante, puis il acquiert de l'énergie thermique du capteur, ce qui nous assure que la température ambiante a un rôle dans l'élévation de la température du capteur.

On remarque aussi, en général, que les valeurs de température aux points 2, 3 et 4 sont proches, et que l'écart entre elles et la température entrant dans le capteur T_1 a augmenté, ce qui indique une augmentation de la valeur du flux de chaleur dans ce capteur. Toujours dans ce capteur, la température T_4 était plus élevée que dans les expériences précédentes.

IV.3.2. Influence du débit d'air entrant ($\dot{m}$) sur la température moyenne du capteur (T_m):

Tableau IV.8: Le débit massique d'air après chaque heure avec la température moyenne du capteur n ° 3.

Temps	T_m (°C)	$\dot{m}$ (g/s)
7:45	21.7	0.17380518
8:45	43.4	4.24962735
9:45	56.875	2.79504963
10:45	60.825	1.68788396
11:45	64.5	3.11136503
12:45	59.175	3.70094037
13:45	58.9	4.43708985

14:45	52.925	1.80735804
15:45	49.85	2.41953094
16:45	47.825	2.0755634

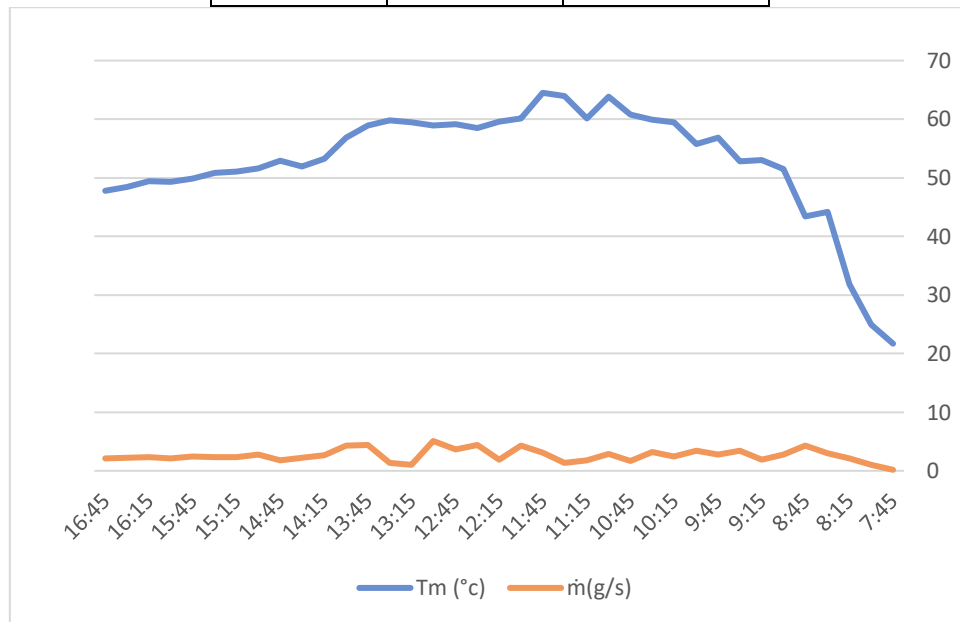


Figure IV.8: Relation entre la température moyenne du capteur #3 et le débit d'air entrant.

D'après ce graphique, on constate que l'augmentation du débit d'air entrant est compensée par une diminution de la température du capteur, car l'air entrant à une température plus basse qu'à l'intérieur du capteur, et contribue ainsi à faire baisser la température des composants du capteur.

De plus, son flux de chaleur est proportionnel à la température du capteur et au débit d'air, ce qui signifie que la valeur est constante, si le débit augmente, les températures diminuent et inversement.

IV.3.3. Efficacité du capteur #3:

Tableau IV.9: Les valeurs du flux de chaleur solaire et du flux de chaleur pour le capteur #3 après chaque heure.

Heurs	Tm (°C)	Φ (W)	Φ_s (W)
7:45	21.7	0.59389232	132
8:45	43.4	5.12505059	447
9:45	56.875	45.7871056	537
10:45	60.825	17.8113955	560.4
11:45	64.5	41.9007528	552
12:45	59.175	78.4802909	506.4

13:45	58.9	59.3083615	435
14:45	52.925	10.53509	356.4
15:45	49.85	16.2919116	315.6
16:45	47.825	12.0984591	288

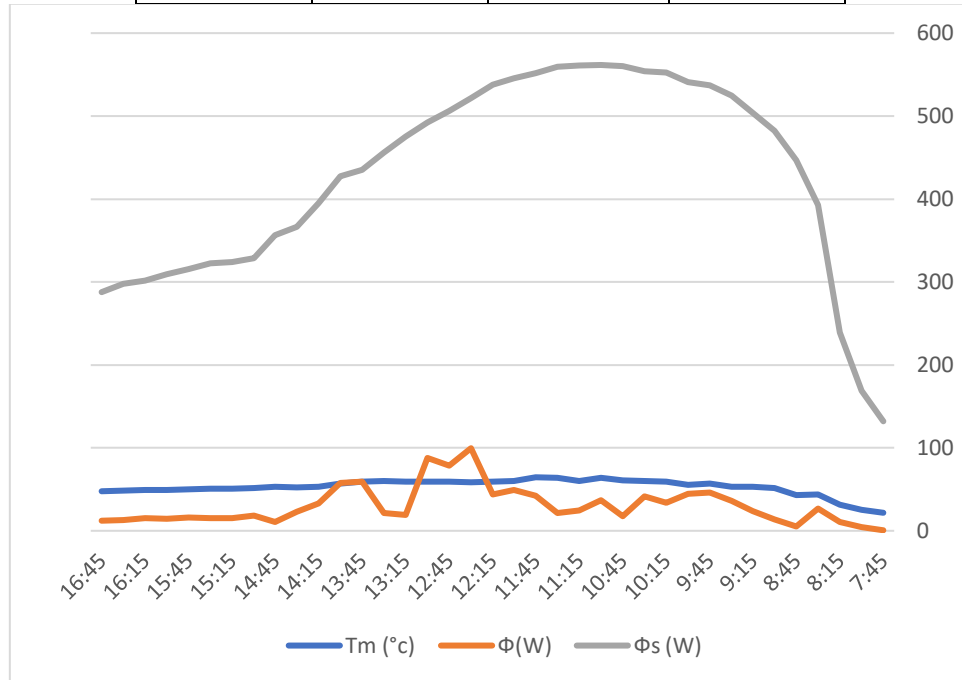


Figure IV.9: Efficacité du capteur3.

On remarque sur le graphique précédent, une fluctuation des valeurs de flux de chaleur Φ , et cela est dû à une fluctuation de la vitesse de l'air entrant dans le capteur. Là où nous remarquons que la valeur de flux de chaleur Φ la plus élevée du capteur était égale à 99.56 watts à 12h30, tandis que la valeur de flux de chaleur Φ moyenne tout au long de la journée était de 31.49 watts.

Alors que nous constatons que la température moyenne du capteur est dans le même sens que le flux de chaleur solaire Φ_s , mais avec des valeurs très faibles, et cela est dû aux faibles valeurs du flux de chaleur du capteur Φ par rapport aux valeurs du flux de chaleur solaire Φ_s .

Les valeurs de flux de chaleur autour desquelles le capteur restaient sans importance par rapport aux valeurs de flux de chaleur données au capteur Φ_s , bien que le rendement moyen de ce capteur soit d'environ 7.15%, ce qui est mieux que le précédent, mais les problèmes restaient les idem Il ne convertit pas le flux de chaleur solaire à des taux élevés pour bénéficier de l'augmentation de la température de l'air à l'intérieur du capteur.

IV.4. Quatrième configuration: Capteur avec chicanes torsadés (vrillées) distribuées en parallèle.

IV.4.1. Champs de température à l'intérieur du capteur par rapport à la température ambiante:

Tableau IV.10: Résultats de la température ambiante et température du capteur n° 4.

Temps	T1 (°c)	T2 (°c)	T3 (°c)	T4 (°c)	Tamb (°c)
7:45	26.5	31.1	35.6	32.3	23.1
8:45	39.5	46.4	53.4	50.5	24.9
9:45	49.1	62.3	63.2	61.9	28.3
10:45	54.4	61.3	69.5	66.6	29.5
11:45	49.4	67	66.6	74.1	31.2
12:45	51.6	71	72.3	69.3	31.9
13:45	51.9	72.2	71	77.2	33.7
14:45	54.4	70.9	74.3	73.2	33.5
15:45	53.4	66	66.6	56.9	32.3
16:45	45.2	52.4	48.5	44.2	33.6

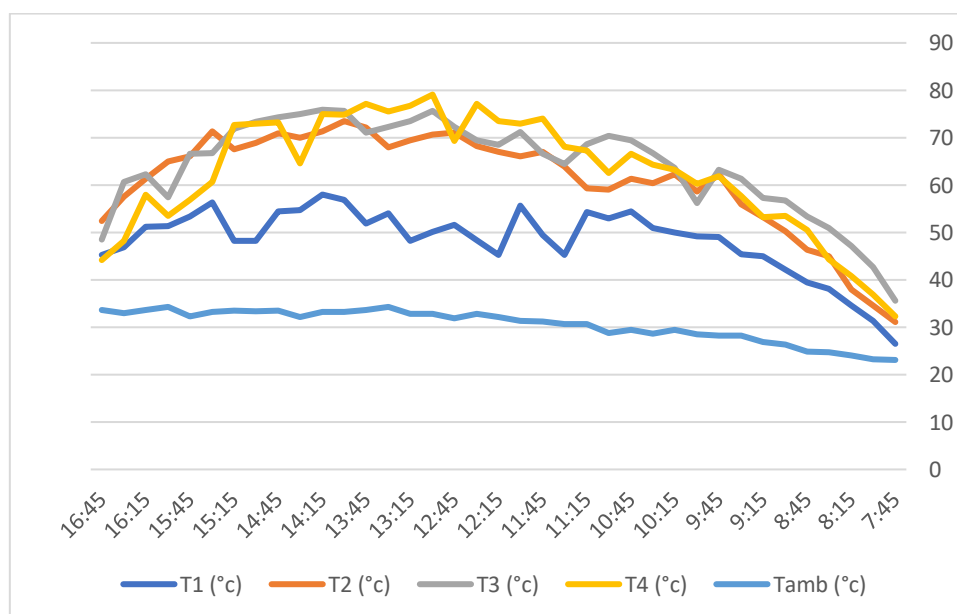


Figure IV.10: Comparaissant les températures du capteur4 à la température ambiante.

Le graphique représente la répartition du champ de température à l'intérieur du capteur et sa relation avec la température ambiante. On remarque que les températures à l'intérieur du capteur sont dans le sens de la température ambiante, qui augmente avec son augmentation. La grande différence entre eux est que l'air entrant à température ambiante acquiert une quantité de chaleur du capteur, ce qui augmente sa température, Plus sa température initiale est élevée, plus l'effet de cette énergie thermique sur l'élévation de la température de l'air est important.

La température ambiante augmentait tout au long de la journée puisqu'elle était en moyenne de 30.5°C. On note également qu'en fin de journée les températures des capteurs ont diminué alors même que la température ambiante augmentait et atteignait une valeur maximale de 33.6°C et cela est due au fait que les températures des capteurs sont également affectées par le rayonnement solaire à partir de laquelle l'énergie thermique est dérivée.

Les températures enregistrées par les thermocouples 2, 3 et 4 étaient similaires. Nous étions loin des températures de la position 1 ce qui est un signe positif. On observe que la température à la sortie du capteur était approximativement la plus élevée, avec une valeur maximale de 79.1°C à 13:00 par rapport à la température de 50.1°C à l'entrée du capteur.

IV.4.2. Effet du débit d'air entrant ($\dot{m}$) sur la température moyenne du capteur (T_m):

Tableau IV.11: Le débit massique d'air après chaque heure avec la température moyenne du capteur n ° 4.

Temps	T_m (°C)	$\dot{m}$ (g/s)
7:45	31.375	0.16828326
8:45	47.45	0.47953642
9:45	59.125	0.92537432
10:45	62.95	1.52473843
11:45	64.275	1.97437642
12:45	66.05	4.26802021
13:45	68.075	3.45422682
14:45	68.2	4.54139556
15:45	60.725	2.30234932
16:45	47.575	4.11441674

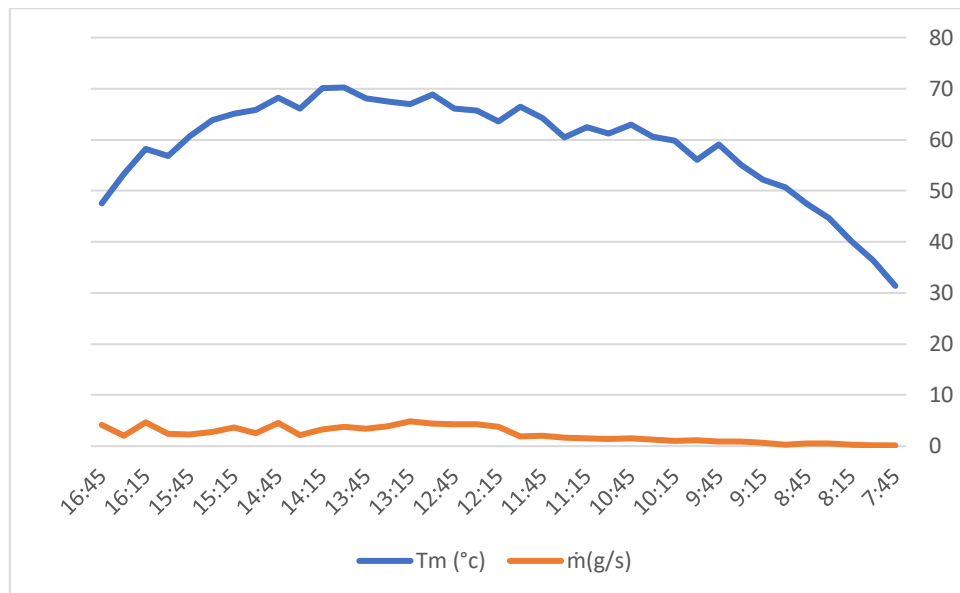


Figure IV.11: Relation entre la température moyenne du capteur #4 et le débit d'air entrant.

A travers l'énoncé, on constate que les valeurs du débit massique d'air sont presque égales dans tous les capteurs et qu'il a une relation inverse avec la température du capteur.

En effet, l'augmentation du débit d'air entraîne une augmentation des turbulences. Cela améliorera le transfert de chaleur par convection entre l'absorbant et l'air.

IV.4.3. Efficacité du capteur #4:

Tableau IV.12: Les valeurs du flux de chaleur solaire et du flux de chaleur pour le capteur #4 après chaque heure.

Temps	T_m (°C)	Φ (W)	Φ_s (W)
7:45	31.375	1.5390345	211.2
8:45	47.45	6.698884	350.4
9:45	59.125	13.113017	468
10:45	62.95	23.138668	523.8
11:45	64.275	49.010933	577.2
12:45	66.05	88.789758	931.2
13:45	68.075	87.828898	876
14:45	68.2	90.82564	769.2
15:45	60.725	30.542966	585
16:45	47.575	29.77192	364.2

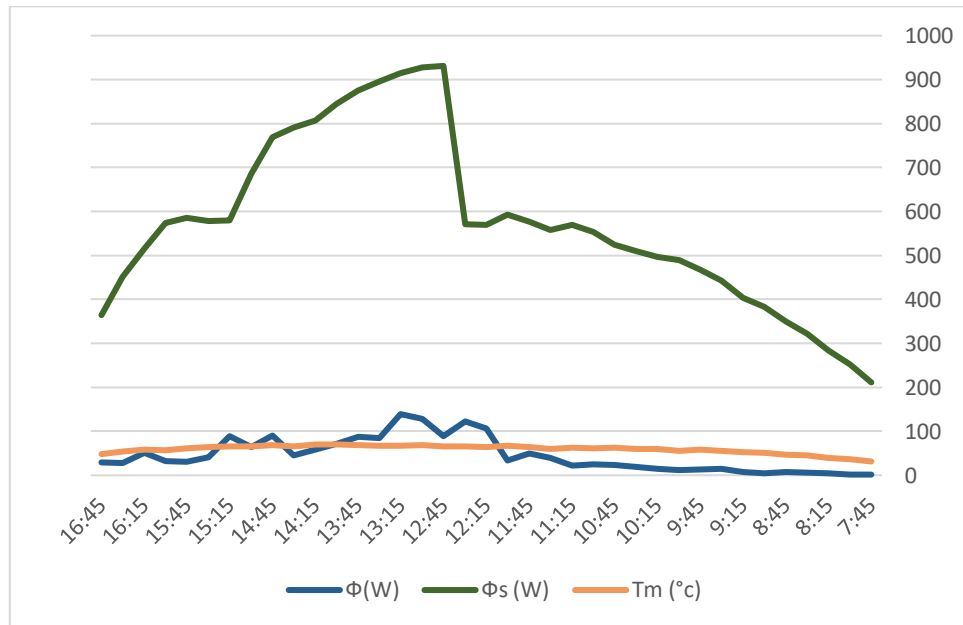


Figure IV.12: production énergétique du capteur4.

A travers le graphique, on constate que la température moyenne du capteur est en ligne avec les valeurs de flux de chaleur Φ obtenues par l'air, car on note que les valeurs de flux de chaleur Φ les plus élevées se situaient entre 12h00 et 14h00 à taux de 95.74 watts. On explique aussi la présence de certaines fluctuations dans le flux de chaleur, notamment dans cette zone, qui est la diminution du débit massique d'air.

On note également que le flux de chaleur solaire Φ_s était très important, puisqu'il était entre 12h00 et 14h00 à un taux de 791.47 watts, c'est pourquoi le flux de chaleur Φ du capteur a atteint une valeur maximale de 127.72 watts.

Alors que le rendement moyen du capteur tout au long de la journée était de 7.96 %, ce pourcentage était affecté par la diminution du flux de chaleur Φ et de la température moyenne du capteur dans la première heure en raison de la diminution de la température ambiante.

IV.5. Comparaison des températures moyennes par rapport au capteur témoin:

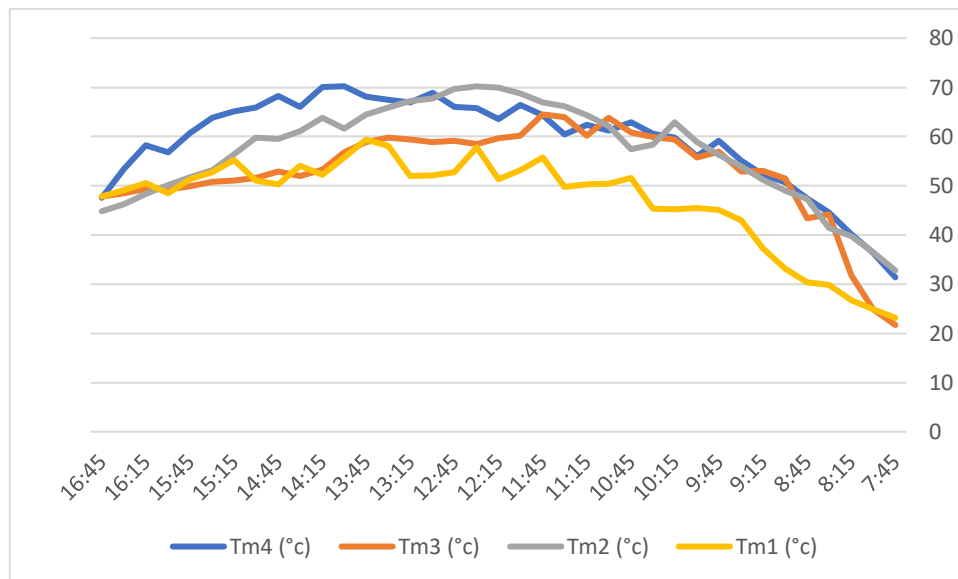


Figure IV.13: Comparez les températures moyennes.

À travers le graphique, nous remarquons que le capteur n°4 (quatrième configuration) a les valeurs de température moyennes les plus élevées, car la température dans ce type de capteur est supérieure de 25.32% à celle du capteur n° 1 (première configuration, sans aucune amélioration), tandis que le capteur n°3 (troisième configuration) et le capteur n°2 (deuxième configuration) sont supérieurs de 20.84% aux températures relatives au capteur témoin.

IV.6. Performances des différentes configurations de capteurs solaires testés:

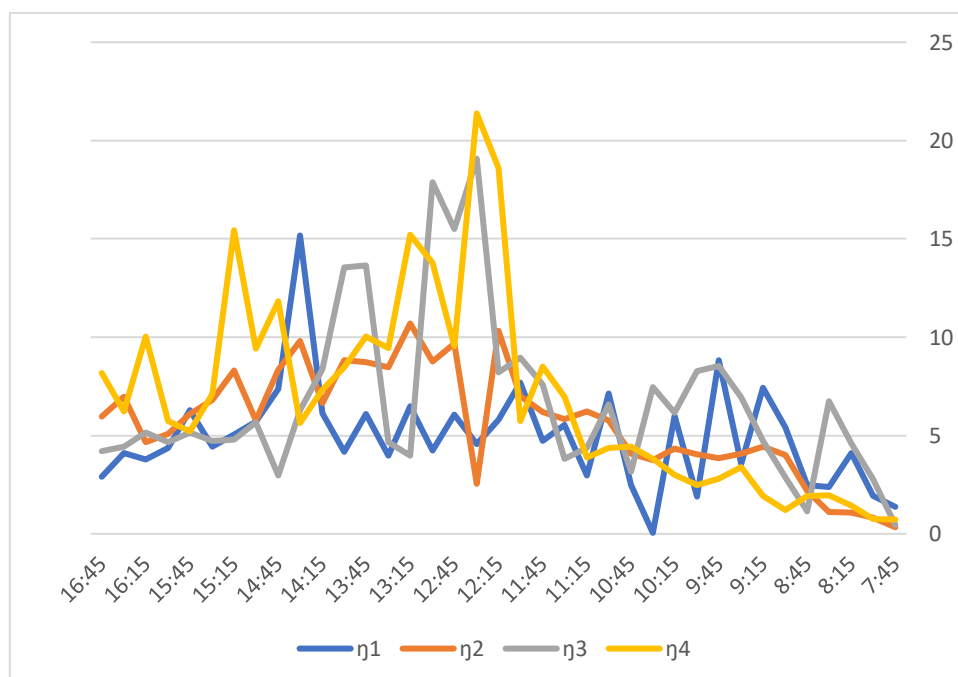


Figure IV.14: rendement de tous les capteurs.

Comme illustré sur le graphique, nous remarquons que les valeurs de performance maximales se situaient entre 12h00 et 15h00, car la performance moyenne du capteur n° 4 dans la plage de temps précédente était d'environ 11.26%, soit 75.43% de plus que le capteur n°1.

Tandis que la performance moyenne du capteur n°3 dans cette plage de temps était de 9.90%, soit 54.32% de plus que le premier capteur. Alors que le capteur n°2 donnait une performance moyenne de 8.12% dans ce domaine temporel, soit 26.56% de plus que le premier capteur.

Mais la performance moyenne toute la journée du capteur n°4 est supérieure de 41.19 % à celle du premier. Alors que le capteur n°3 est supérieur de 35.82% au capteur témoin. Alors que le capteur n°2 est 15.82% de plus que le capteur sans chicanes.

CONCLUSION GENERALE

La région de Oued Souf est considérée comme une zone solaire par excellence d'une part sa situation géographique, et d'autre elle est également considérée comme l'une des zones agricoles importantes d'Algérie. Par conséquent, l'énergie solaire doit être utilisée pour sécher les produits agricoles. Ainsi dans ce travail on vise l'objectif d'améliorer l'efficacité du capteur solaire pour que ce processus se déroule dans des conditions idéales.

Selon les résultats obtenus suite à la présente étude expérimentale, il a été constaté que le fait de placer des obstacles artificiels (dites des chicanes) dans l'absorbeur améliore la qualité du capteur solaire car il permet à l'air de gagner plus d'énergie thermique en parcourant la surface du capteur.

On a également constaté que la forme de ces obstacles et leur position à l'intérieur du capteur affectent l'efficacité du capteur solaire. Là où l'étude a confirmé que placer des chicanes torsadées (vrillées) distribuées en parallèle, augmente l'efficacité du capteur de 75.43% par rapport au capteur solaire sans chicanes.

Les résultats obtenus montrent également :

- La température à l'entrée du capteur doit être basse pour améliorer l'efficacité du capteur.
- L'effet des facteurs météorologiques sur l'efficacité du capteur.
- L'augmentation du débit d'air augmente l'efficacité du capteur.

D'autres résultats et conclusions pourront être obtenus en investiguant d'autres configurations de capteur solaire plan à air dans les futures études thermo-hydraulique ou thermomécanique.

Références bibliographiques

- [1] Gordon J., "Solar energy: the state of the art", ISES position papers, 2001.
- [2] Chelmouni, Sofia, and Liza Dekkal. *Etude et réalisation d'un échangeur de chaleur récupérateur de l'énergie issue des gaz brûlés de combustion d'un chauffage domestique*. Diss. UMMTO, 2018.
- [3] Amraoui, M. "Etude numérique d'un capteur solaire plan à air Influence de la forme de la rugosité." *memory magister in Mechanical Engineering* (2012).
- [4] Ademe, « Eau chaude solaire collective : bonnes pratiques », p. 38, 2005.
- [5] Duffie J. A., Beckman W. A., "Solar engineering of thermal processes", John Wiley & Sons, 1980.
- [6] Communay P. H., « Héliothermique : le gisement solaire, méthodes et calculs », Groupe de recherche et d'édition, 2002.
- [7] Kalogirou A. S., "Solar thermal collectors and applications", *Progress in energy and combustion science* 30, pp. 231–295, 2004.
- [8] Iordanou G., "Flat-plate solar collectors for water heating with improved heat transfer for application in climatic", Phd. thesis, University of Durham, 2009.
- [9] Afedes M., « Memento d'héliotechnique », Edition européennes thermique et industrie, 1979.
- [10] Bernard J., "Energie solaire; Calculs et optimisation », Edition Ellipse Marketing, 2004.
- [11] Lienhard J. H., Lienhard J. H., "A heat transfer textbook", 3rd Edition, Cambridge, 2008.
- [12] Bemer C., Durst F., McEligot D. M., "Numerical study of fluid flow and heat transfer in a parallel plate channel with baffles", *J. Heat Transfer*, pp.106-743, 1984.
- [13] El Mokretar S., Miri R., Belhamel M., "Etude du bilan d'énergie et de masse d'un séchoir de type serre, applications au séchage des produits agro-alimentaires », *Revue des Energies Renouvelables* vol. 7, pp. 109-123, 2004.
- [14] "Protocole de Kyoto à la convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques," Nations Unis, Kyoto, 1990.
- [15] Bazdidi-Tehrani F., Naderi-Abadi M., "Numerical Analysis of Laminar Heat Transfer in Entrance Region of a Horizontal Channel with Transverse fins", *Int. Comm. Heat Mass Transfer* vol. 31(2), pp. 211-220, 2004.
- [16] Yang Y. T., Hwang C. Z., "Calculation of turbulent flow and heat transfer in a porous-based channel", *Int. J. Heat Mass. Transfer* vol. 46, pp. 771–780, 2003.
- [17] Yuan Z. X., Tao W. Q., "Numerical prediction for laminar forced convection heat transfer in parallel-plate channels with streamwise-periodic rod disturbances", *Int. J. Numerical Methods in Fluids* vol. 28, pp. 1371-87, 1998.

- [18] Foster R., Ghassemi M., Cota A., "Solar energy: renewable energy and the environment", CRC press, 2009.
- [19] Quoilin S., « Les Centrales Solaires à Concentration », Université de Liège, 2007.
- [20] Kalla F., « Conversion thermodynamique de l'énergie solaire : Etude et modélisation d'un capteur solaire », PhD. Dissertaion, Univ. Batna 2, 2014.
- [21] Ramdani H., "Etude d'un Capteur Solaire Photovoltaïque/Thermique à Base de Nano-fluide." *MagisterDissertation in Mechanical Engineering* , 2016.
- [22] Kabidi K., "Expérimentation et modélisation du comportement énergétique et thermique d'un séchoir solaire sous le climat de la région de Rabat", Phd Thesis, 2014.
- [23] I. Paraschivoiu, « Aérodynamique subsonique », Editions de l'école polytechnique de Montréal (Québec), Canada, 1998.
- [24] S. Khene, « Mécanique des fluides », publications de l'université Badji Mokhtar, Annaba, 2000.
- [25] S. A. Kalogirou, "Solar Energy Engineering Processes and Systems", 2nd Edition, Elsevier, Boston-Massachusetts (USA), 2014.
- [26] B. Flèche et D. Delagnes, « Energie Solaire Photovoltaïque », Cours Sti. El.t, Juin 2007.
- [27] J. C. Dupont, « Impact des Nuages de Haute Altitude sur le Bilan Radiatif à la Surface de la Terre: Quantification Expérimentale et Analyse », Thèse de Doctorat en Physique de l'Atmosphère de l'Ecole Polytechnique (Université Paris Saclay), 2008.
- [28] ISO 7933. Ergonomics of the Thermal Environment—Analytical Determination and Interpretation of Heat Stress Using Calculation of the Predicted Heat Strain, 2nd ed.; International Organization for Standardization (ISO): Geneva, Switzerland, 2004; pp. 12–13.
- [29] J. Liu, Analysis of thermal performance for a new-type flat-plate collector of black ceramic. J. Gansu Sci., 2, 1990.
- [30] I. L. Wong, P. A. Eames, Method for calculating the solar transmittance, absorptance and reflectance of a transparent insulation system. Sol. Ene. 111, pp. 418–425, 2015.
- [31] A. Al Shehri, B. Parrott, P. Carrasco, H. Al Saiari, I. Taie, Impact of dust deposition and brush-based dry cleaning on glass transmittance for PV modules applications. Sol. Ene.135, pp. 317–324, 2016.
- [32] H. Zhang, "Solar Thermal Utilization Principle and Computer Simulation", 2nd ed., Northwestern Polytechnical University Press: Xi'an, China, 2004;
- [33] D. J. Wojcicki, Derivation of the effective beam radiation incidence angle equations for diffuse and reflected solar radiation using a two dimensional approach. Sol. Ene. 112, 272–281, 2015.

- [34] T. Nakamura, N. Tsutsumi, N. Juni, H. Fujii, Thin-film waveguiding mode light extraction in organic electroluminescent device using high refractive index substrate. *J. Appl. Phys.* 97, pp. 054505.1–054505.6, 2005.
- [35] R. B. Liang, J. L. Zhang, L. Zhao, L. D. Ma, Performance enhancement of filled-type solar collector with U-tube. *J. Cent. S. Univ.* 22, pp. 1124–1131, 2015.
- [36] O. K. Ahmed, S. M. Bawa, The combined effect of nanofluid and reflective mirrors on the performance of PV/Thermal solar collector. *Therm. Sci.* 23, pp. 573–587, 2019.
- [37] M. Lomascolo, G. Colangelo, M. Milanese, A. DeRisi, Review of heat transfer in nanofluids: Conductive, convective and radiative experimental results. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 43, pp. 1182–1198, 2015.
- [38] V. K. Agarwal, D.C. Larson, Calculation of the top loss coefficient of a flat-plate collector. *Sol. Ene.* 27, pp. 69–71, 1981.
- [39] C. Mahboub, N. Moumami, Calculation of the glass cover temperature and the top heat loss coefficient for corrugated solar collectors with single glazing. *Sol. Ene.* 86, pp. 804–808, 2012.
- [40] H. U. Helvacı, Z. A. Khan, Mathematical modelling and simulation of multiphase flow in flat plate solar energy collector. *Ene. Conv. Manag.* 106, pp. 139–150, 2015.
- [41] T. J. W. Wagner, I. Eisenman, False alarms: How early warning signals falsely predict abrupt sea ice loss. *Geophys. Res. Lett.* 42, pp. 333–341. 2015.
- [42] E. Zanchini, A. Jahanbin, Simple equations to evaluate the mean fluid temperature of double-U-tube borehole heat exchangers, *Appl. Ene.* 231, pp. 320–330, 2018.
- [43] E. Shojaeizadeh, F. Veysi, A. Kamandi, Exergy efficiency investigation and optimization of an Al₂O₃-water nanofluid based flat-plate solar collector. *Ene. Build.* 101, pp. 12–23, 2015.
- [44] R. W. Moss, G. S. F. Shire, P. Henshall, P. C. Eames, F. Arya, T. Hyde, Design and fabrication of a hydroformed absorber for an evacuated flat plate solar collector. *Appl. Therm. Eng.* 138, pp. 456–464, 2018.
- [45] P. J. Lunde, New heat transfer factors for flat plate solar collectors. *Sol. Ene.* 27, 109–113, 1981.
- [46] W. Kang, Y. Shin, H. Cho, Economic analysis of flat-plate and U-tube solar collectors using an Al₂O₃ nanofluid. *Energies* 10, p. 1911, 2017.
- [47] S. Furbo, J. Dragsted, B. Perers, E. Andersen, F. Bava, K. Pagh, Yearly thermal performances of solar heating plants in Denmark—Measured and calculated. *Sol. Ene.* 159, pp. 186–196, 2018.
- [48] R. Ben Slama, The air solar collectors: comparative study, introduction of baffles to favor the heat transfer, *Sol. Ene.* 81, pp. 139–149, 2007.

- [49] K. Aoues, N. Moummi, M. Zellouf, A. Benchabane, Thermal performance improvement of solar air flat plate collector, a theoretical analysis and an experimental study in Biskra, Algeria, Int. J. Amb. Ene. 32, pp. 95-102, 2011.
- [50] Duffie JA, Beckman WA. Solar engineering of thermal processes. New York: Wiley;1980.

Sites Web:

- [51]. <https://techno-science.net/definition/3719.html>
- [52]. <https://lutroninstruments.eu/with-datalogger/thermometer-lutron-btm-4208sd>
- [53]. <https://langlois-france.com/fr/divers/5049-pyranometre.html>
- [54]. <https://manualslib.com/manual/1277836/Lutron-Electronics-Am-4206m.html?page=4#manual>.