



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Mécanique

# MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétiques Mécanique

Réf. : .....

---

Présenté et soutenu par :

**Mr. Youcef Bekkari**

Le : lundi 8 juillet 2019

## Etude des performances thermiques d'un capteur solaire curviligne à air.

---

### Jury :

Dr.	Tahar Masri	MCB	Université de Biskra	Président
Dr.	Abdelhakim M. Benmachich	MCA	Université de Biskra	Examineur
Dr.	Adnane Labeled	MCA	Université de Biskra	Rapporteur

# Remerciements

*Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé à réaliser cette étude en apportant des renseignements ou en acceptant de répondre à mes questions.*

*En premier lieu je tiens à remercier chaleureusement, mon encadreur: **Dr. LABED ADNANE** qui n'a épargné aucun effort pour m'aider et diriger durant la réalisation de ce modeste travail. Je lui suis très reconnaissant pour la patience dont il a fait preuve le long de ce projet qui a nécessité un travail de longue haleine.*

*J'exprime ma profonde gratitude à **Dr.Meftah** qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire. Je tien ainsi, à remercier également, **Dr.Benmachich** d'avoir accepté d'être membre du Jury de ma soutenance. Je suis très reconnaissant pour l'attention qu'ils ont portés à ce travail.*

*Mes plus vifs remerciements s'adressent également à **Mrs. Guellai, Bouhelal et Belmabrouk.** pour leurs efforts remarquables*

*qui m'ont permis d'acquérir de précieuses connaissances scientifiques.*

*Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail*

*A*

*Ma mère*

*Toutes mes frères Haidar, Abdelchfi et ma  
sœur Wafa*

*Toute ma famille*

*Tous mes proches*

*Mes amies:*

*Abdelbari, Mohammed, Lakdar, Ali,*

*Aymen*

*Tous mes amis et connaissances sans  
exception*

*Tous ceux qui m'ont aidé et encouragé.*

*Toute la promotion génie mécanique  
énergétique*

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicace

Nomenclature

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION GENERALE

**Chapitre I: Généralités sur les capteurs solaires**

I.1.Introduction.....	3
I.2. Généralités sur les capteurs solaires .....	3
I.2.1 Le rôle d'un capteur solaire thermique .....	3
I.2.3 Principe de fonctionnement.....	4
I.3. Différents types de capteurs solaires .....	5
I.3.1 Capteur solaire curviligne à air .....	5
I.3.2 Capteurs de types vitrés .....	6
I.3.3 Capteurs solaires plans sans vitrage .....	6
I.3.4 Capteurs tubulaires sous vide.....	7
I.3.5 Les centrales à capteur cylindro-parabolique.....	8
I.3.6 Les centrales à capteurs paraboliques:.....	8
I.4 Éléments constitutants du capteur solaire plant à air .....	9
I.4.1 Absorbeur.....	10
I.4.2 Couverture transparente : .....	10
I.4.3 L'isolant.....	12
I.5 Applications des capteurs solaires plans à air .....	14
I.5.1 Chauffage solaire aéraulique .....	14
I.5.2 Séchage.....	15
I.5.3 Production de l'énergie mécanique.....	16

**Chapitre II: Etat de l'art**

II.1 Introduction:.....	17
II.2 Etudes effectuées sur les capteurs solaires.....	17
II -3 Conclusion.....	27

**Chapitre III: Instruments et Mesures**

III.1. Introduction.....	28
III.2. Caractéristiques du site d'expérimentation (Biskra).....	28

III.3. Présentation du dispositif expérimental utilisé.....	28
III.4. Maintenance du dispositif expérimental.....	29
III.5. Caractéristiques techniques des différents composants du capteur.....	30
III.6. Instruments de mesures.....	31
III.6.1. Thermocouples.....	31
III.6.2. Pyranomètre.....	31
III.6.3. Anémomètre .....	32
III.7. Protocole expérimental.....	32

## **Chapitre IV: Résultats et discussion**

IV.1. Introduction.....	34
IV.2. Conditions Climatiques.....	34
IV.2.1 La variation du rayonnement solaire global journalier.....	34
IV.2.2 Variation de la vitesse du vent.....	36
IV.3. Variation de la température de l'air à l'entrée et à la sortie du capteur.....	37
IV.4. Distribution de la température de l'air dans le canal d'écoulement du capteur.....	39
IV.5. Variation du rendement thermique.....	42
IV.5.1. Calcul le rendement thermique.....	42
IV.5.2. Variation du rendement en fonction du temps.....	43
IV.5.3. Variation du rendement en fonction du débit d'air.....	45
IV.5.4. Performances thermiques en fonction de différents paramètres.....	46
IV.5.4.1. Variation du rendement en fonction de $\Delta T/I_g$ .....	46
IV.5.4.2. Variation du rayonnement en fonction de $\Delta T$ .....	48
IV.5.4.3. Variation de la différence de température en fonction du rayonnement.....	50
IV.6. Variation de la consommation électrique en fonction du débit d'air.....	52
IV.6. Comparaison des résultats avec la littérature.....	53
IV.7. Calcul de l'erreur.....	54
IV.8. Conclusion.....	54

## **CONCLUSION GENERALE**

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## **RESUME**

### Tables des figures

#### Chapitre I:

- Figure I-1 :** Capteur solaire à air conventionnel.
- Figure I-2:** Principe de fonctionnement du capteur solaire plan.
- Figure I-3:** Capteur solaire curviligne.
- Figure I-4:** Capteur plan de type vitré.
- Figure I-5:** Capteurs solaires plans sans vitrage.
- Figure I-6:** Capteur sous vide.
- Figure I-7:** Capteur à réflecteur cylindro-parabolique.
- Figure I-8:** Capteur parabolique avec moteur stirling.
- Figure I-9:** Schéma descriptif d'un capteur plan.
- Figure I-10:** Type de verre pour les couvertures.
- Figure I-11:** Chauffage et climatisation des habitations.
- Figure I-12:** Séchoir solaire.

#### Chapitre II:

- Figure II-1:** Schéma de l'insolateur courbé.
- Figure II-2:** Variation de la température de sortie du fluide ( $T_{fs}$ ) avec la température de l'absorbeur ( $T_{ab}$ ).
- Figure II-3:** Variation du rendement instantané en fonction de la matière de l'absorbeur.
- Figure II-4:** Variation du rendement simulé en fonction de l'épaisseur du vitrage .
- Figure II-5:** Présentation des différentes configurations étudiées
- Figure II-6:** Schémas du capteur C (double passage d'air).
- Figure II-7:** Comparaison des rendements des différentes configurations en fonction du débit.
- Figure II-8:** Géométrie du problème.

**Figure II-9:** Présentation du contour de la vitesse (m/s) dans le capteur.

**Figure II-10:** Présentation du contour de température (K°) dans le capteur .

**Figure II-11:** Variation du rendement du capteur solaire en fonction du solaire et du temps.

**Figure II-12:** Effet du rayonnement solaire sur le rendement pour différentes vitesses de l'air .

**Figure II-13:** Evolution de la température de Plexiglas en fonction du temps de la journée pour différent angles d'inclinaison.

**Figure II-14:** Evolution de la température de sortie en fonction du temps de la journée pour différent angles d'inclinaison .

### Chapitre III:

**Figure III-1 :** Photo du capteur solaire utilisé

**Figure III-2 :** Le capteur curviligne étudié avant et après la préparation.

**Figure III-3 :** Thermomètre-LCD-Digital.

**Figure III-4 :** Pyranomètre de type PYR1307.

**Figure III-5 :** Anémomètre à hélice.

### Chapitre IV:

**Figure IV-1:** Variation du rayonnement solaire global en fonction du temps (le 04 Mars 2019).

**Figure IV-2:** Variation de rayonnement solaire global en fonction du temps(le 05 Mars 2019).

**Figure IV-3:** Variation du rayonnement solaire global en fonction du temps(le 06 Mars 2019).

**Figure IV-4 :** Variation de la Variation de la vitesse du vent en fonction du temps en fonction du temps (le 04 Mars 2019).

**Figure IV-5 :** Variation de la vitesse du vent en fonction du temps (le 05 Mars 2019).

**Figure IV-6 :** Variation de la vitesse du vent en fonction du temps (le 06 Mars 2019).

**Figure IV-7:** Variation de la température de l'air  $T_e$  et  $T_s$  en fonction du temps (le 04 Mars 2019).

**Figure IV-8:** Variation de la température de l'air  $T_e$  et  $T_s$  en fonction du temps (le 05 Mars 2019).

**Figure IV-9:** Variation de la température de l'air  $T_e$  et  $T_s$  en fonction du temps (le 06 Mars 2019).

**Figure IV-10:** Position des sondes dans le conduit d'écoulement

**Figure IV-11:** Distribution de la température de l'air dans canal d'écoulement selon le plan (x, y), pour  $\dot{m}= 0.02112$  ( kg/s).

**Figure IV-12:** Distribution de la température de l'air dans canal d'écoulement selon le plan (x, y),  $\dot{m}= 0.0264$  ( kg/s).

**Figure IV-13:** Distribution de la température de l'air dans canal d'écoulement selon le plan (x, y), pour  $\dot{m}= 0.03696$  ( kg/s).

**Figure IV-14:** Variation du rendement en fonction du temps (le 04 Mars 2019).

**Figure IV-15:** Variation du rendement en fonction du temps (le 05 Mars 2019).

**Figure IV-16:** Variation du rendement en fonction du temps (le 06 Mars 2019).

**Figure IV-17:** Variation du rendement en fonction du débit massique.

**Figure IV-18:** Variation du rendement en fonction de  $\Delta T/I_g$ , pour le cas de 04/03/2019,  $\dot{m}=0.0211$  kg/s.

**Figure IV-19:** Variation du rendement en fonction de  $\Delta T/I_g$ , pour le cas de 05/03/2019,  $\dot{m}=0.0264$  kg/s.

**Figure IV-20:** Variation du rendement en fonction de  $\Delta T/I_g$ , pour le cas de 06/03/2019,  $\dot{m}=0.03696$  kg/s

**Figure IV-21:** Variation du rayonnement en fonction de  $\Delta T$ , pour le cas de 04/03/2019,  $\dot{m}=0.0211$  kg/s.

**Figure IV-22:** Variation du rayonnement en fonction de  $\Delta T$ , pour le cas de 05/03/2019,  $\dot{m}=0.0264$  kg/s.

**Figure IV-23:** Variation du rayonnement en fonction de  $\Delta T$ , pour le cas de 06/03/2019,  $\dot{m}=0.03696$  kg/s.

**Figure IV-24:** Variation du rayonnement en fonction de  $\Delta T$ , pour le cas de 04/03/2019,  $\dot{m}=0.0211$  kg/s.

## Liste des figures

---

**Figure IV-25:** Variation du rayonnement en fonction de  $\Delta T$ , pour le cas de 05/03/2019,  $\dot{m}=0.0264$  kg/s.

**Figure IV-26:** Variation du rayonnement en fonction de  $\Delta T$ , pour le cas de 06/03/2019,  $\dot{m}=0.03696$  kg/s.

**Figure IV-27:** Variation la puissance électrique consommée en fonction du débit massique.

**Figure IV-28:** Variation entre deux performances thermiques.

## Liste des tableaux

### Chapitre I:

**Tableau I-1:** Caractéristique thermo-physiques de quelques matériaux métalliques.

**Tableau I-2:** Propriétés des isolants.

### Chapitre III:

**Tableau III -1 :** Caractéristiques techniques des instruments de mesure.

### Chapitre IV:

**Tableau IV-1:** Comparaison des valeurs moyennes mesurées durant les trois jours étudiés.

A	Surface	(m <sup>2</sup> )
A <sub>c</sub>	la surface de l'absorbeur	(m <sup>2</sup> )
cp	Capacité calorifique massique	(J/kgK)
D	Diamètre	(m)
I <sub>g</sub>	Rayonnement solaire global incident sur une surface inclinée	(W/m <sup>2</sup> )
k	Conductivité thermique	(W/mK)
K <sub>c</sub>	Coefficient de conductivité thermique	(W/mK)
L	Longueur	(m)
m	Débit massique	(kg/s)
P	Puissance	(W)
Q <sub>u</sub>	la quantité de chaleur en fonction du débit massique	(W)
R <sub>c</sub>	Rayon de courbure	(m)
t	temps	(s)
T <sub>a</sub>	température ambiante	(°C)
T	Température	(°C)
T <sub>f</sub>	température moyenne de l'air dans la veine d'air mobile du capteur	(°C)
T <sub>fe</sub>	température sèche de l'air à l'entrée du capteur	(°C)
T <sub>fs</sub>	température sèche de l'air asséchant à la sortie du capteur	(°C)
T <sub>abs</sub>	température moyenne de l'absorbeur	(°C)
x, y	Coordonnées cartésiennes	(m)

### **Lettres grecques**

α	Absorptivité	(–)
α <sub>c</sub>	Coefficient d'absorption	(–)
β	Angle d'inclinaison	(degré/rad)
δ	Déclinaison solaire	(degré)
ε	Émissivité	(–)
ε <sub>c</sub>	Coefficient d'émission	(–)
φ	Latitude du site (degré), demi-angle d'ouverture des rigoles	(degré)
η	le rendement thermique	(–)
μ	Viscosité dynamique	(kg/sm)
ν	Viscosité cinématique	(m <sup>2</sup> /s)
ρ	Masse volumique	(kg/m <sup>3</sup> )
τ	Transmissivité	(–)
λ	Conductivité thermique	(W/m.K)

## Indices

a   Ambiante  
e   Entrée  
eff   Effectif  
f   Fluide  
th   Thermique  
s   Sortie  
u   Utile  
v   Vitre

# **Introduction général**

### *Introduction Générale*

Au cours des dernières décennies, le monde a connu une tendance en faveur des énergies propres, car les énergies fossiles causent des dégâts considérables sur l'homme et l'environnement, notamment le trou dans la couche d'ozone, la menace du réchauffement climatique, etc.

Il existe de nombreux types de sources d'énergie renouvelables propres pouvant être exploitées, telles que l'énergie solaire, l'énergie éolienne, la biomasse, la géothermie, etc. Les chercheurs se sont concentrés sur l'énergie solaire comme étant la plus facile à exploiter par rapport aux autres sources.

Les applications de l'énergie solaire peuvent être regroupées en deux catégories principales qui sont les applications à hautes températures et ceux à basses températures. Parmi les systèmes de conversion de l'énergie solaire on peut citer le chauffage, le séchage et la production de l'électricité.

Les recherches consacrées au développement de l'énergie solaire reposent sur des simulations numériques ou des applications expérimentales. Le laboratoire de génie mécanique de l'Université de Biskra a également consacré tous les moyens possibles pour l'étude et le développement de certains systèmes de conversion d'énergie tels que les capteurs solaires. C'est dans ce contexte précis que ce projet a pour objectif d'étudier les performances thermiques, le rendement thermique et la distribution de la température dans le canal d'écoulement d'air d'un capteur solaire à air de forme courbée pour différents débits d'air.

Ce travail est réparti en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous donnons quelques informations générales sur les capteurs solaires, leurs principes de fonctionnements, les différents types et domaines d'utilisation.

Le deuxième chapitre est consacré à présenter une synthèse bibliographique de quelques travaux de la littérature réalisés au cours des cinq (05) dernières années.

Une description détaillée du capteur solaire curviligne étudié, les instruments de mesure utilisés ainsi que le protocole expérimental suivi constituent le contenu du troisième chapitre.

Le quatrième chapitre est dédié à la présentation des conditions climatiques dans lesquelles l'expérience a été réalisée, les résultats des tests expérimentaux ainsi que l'analyse et l'interprétation de ces résultats.

Enfin, on terminera ce manuscrit par une conclusion générale qui englobe l'ensemble des résultats les plus importantes obtenues dans ce projet.

**Chapitre I**

**Généralités**

**sur les**

**capteurs**

**solaires**

## I.1. Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons présenter les notions de base des capteurs solaires ; le principe de fonctionnement de ces systèmes, leurs différents types et leurs domaines d'application.

## I.2. Généralités sur les capteurs solaires

### I.2.1 Le rôle d'un capteur solaire thermique :

Le rôle d'un capteur solaire thermique est de transformer le rayonnement solaire qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable, le plus souvent par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau, air, ...)[1]. Le bon fonctionnement d'un capteur solaire plan à air classique est basé notamment sur ses performances thermiques, hydrauliques et principalement son rendement pour convertir l'énergie solaire en énergie thermique, c'est-à-dire la production de l'air chaud, dans le but de l'utiliser pour différentes applications. Le fonctionnement du capteur bien que simple en apparence est dépendant d'un grand nombre de paramètres sur lesquels il faut jouer pour améliorer le rendement du capteur [2].

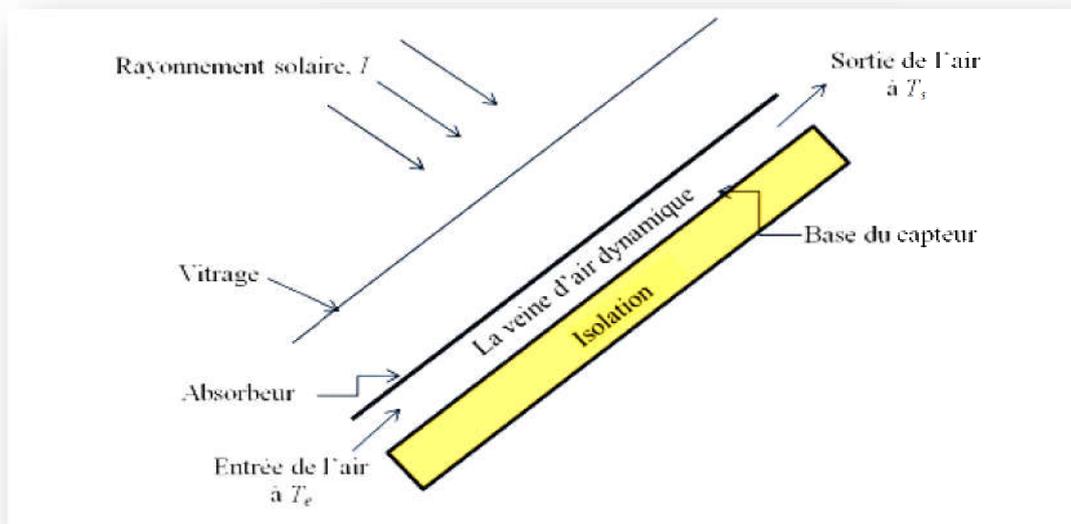


Figure I-1 : Capteur solaire à air conventionnel [2].

### I.2.3 Principe de fonctionnement:

Le principe de fonctionnement d'un capteur solaire curviligne est le même qu'un capteur plan est très simple (Figure. I.2):

- Le rayonnement solaire traverse la vitre et arrive sur l'absorbeur muni d'une surface sélective où il est converti en chaleur à sa surface.
- Le fluide caloporteur qui circule dans l'absorbeur conduit la chaleur captée vers un échangeur de chaleur, à partir du qu' elle est transmise au consommateur.
- Le vitrage est transparent pour le rayonnement visible et le proche I.R mais opaque pour le rayonnement I.R lointain émis par l'absorbeur, ainsi, la couverture transparente crée un effet de serre.
- L'isolation thermique en dessous et autour du capteur diminue les déperditions thermiques et augmente ainsi son rendement [3].

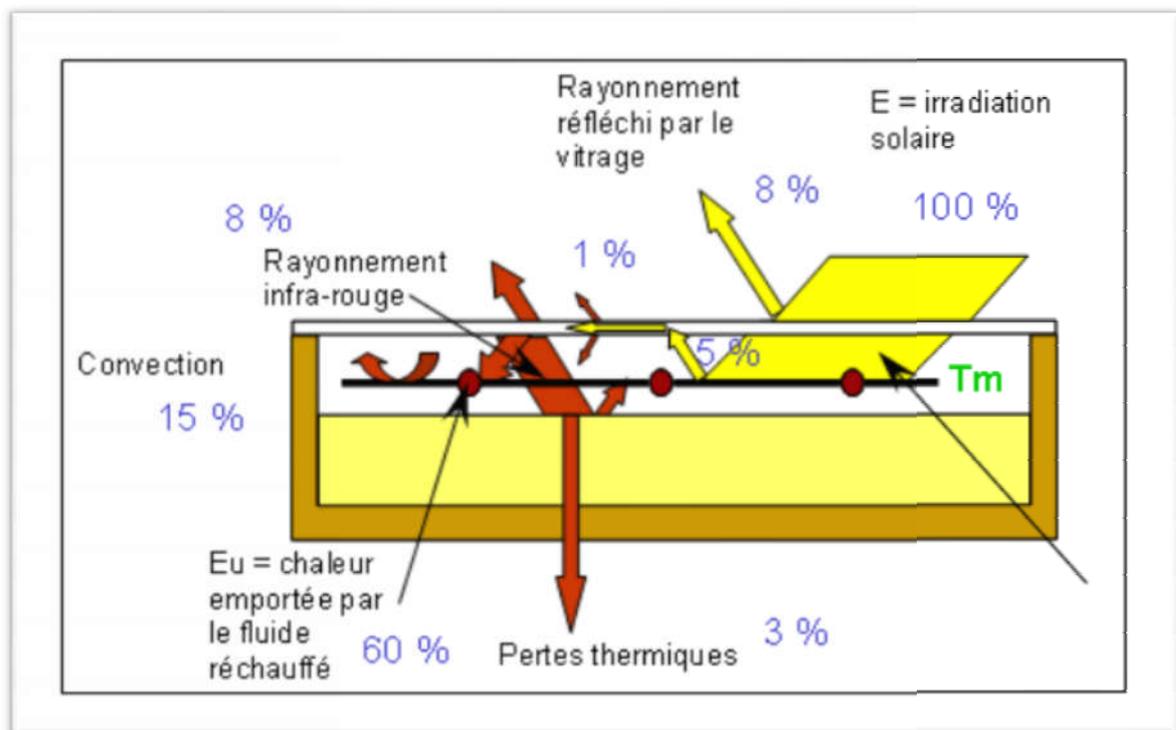


Figure I-2: Principe de fonctionnement du capteur solaire plan.

### I.3. Différents types de capteurs solaires :

Il existe non seulement plusieurs manières de fournir de l'énergie solaire, mais également différentes méthodes et systèmes pour capter l'énergie solaire provenant d'un rayonnement incident [5]. Parmi ces systèmes on peut citer les concentrateurs solaires, les cheminés solaires, et les capteurs solaires plans qui sont les plus souvent utilisés.

Dans ce mémoire nous nous intéressons à un capteur solaire curviligne qui a le même principe de fonctionnement et les mêmes composants qu'un capteur plans à air, sauf qu'il a une forme convexe.

#### I.3.1 Capteur solaire curviligne à air :

Comme il est indiqué sur la figure (I-3) le capteur solaire curviligne a une forme convexe, son principe de fonctionnement est le même que celui d'un capteur plan. Il comporte les mêmes composants, à l'exception de sa forme géométrique qui est courbée avec un rayon de 03 m.



Figure I-3: Capteur solaire curviligne [4].

### I.3.2 Capteurs de types vitrés :

Les capteurs plans de types vitrés sont très répandus et ils existent sous forme de capteurs à circulation de liquide et sous forme de capteurs à air. Ces capteurs conviennent mieux à des applications à température modérée où la température désirée se situe entre 30 et 70 °C, et/ou à des applications qui nécessitent de la chaleur au cours des mois d'hiver. Les capteurs à circulation de liquide sont plus communément utilisés pour le chauffage de l'eau chaude des résidences et des commerces, pour le chauffage des bâtiments, ainsi que cela des piscines intérieures [5].

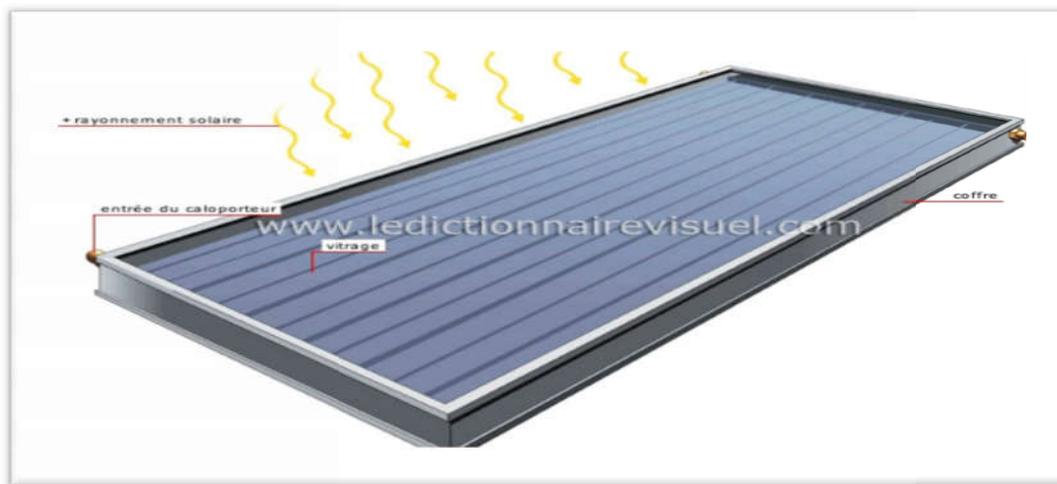
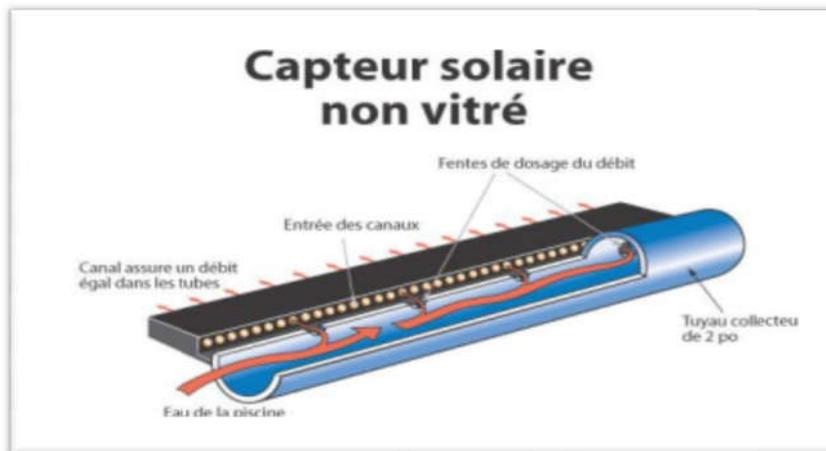


Figure I-4: Capteur plan de type vitré [5].

### I.3.3 Capteurs solaires plans sans vitrage :

Les capteurs solaires non vitrés ont une grande capacité d'absorption de chaleur, mais ont aussi de grandes pertes thermiques. La température de sortie escomptée est de l'ordre de 40°C [6].

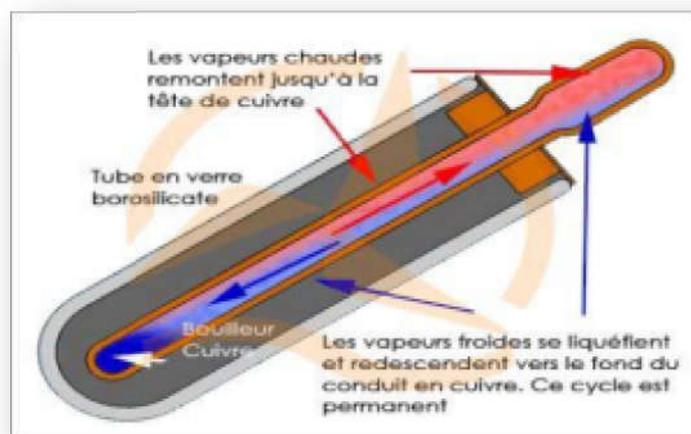
Ce type de capteurs fournis des températures du fluide à la sortie allant de 30 à 40°C. Ces capteurs sont constitués d'un réseau de tubes peints en noir en plastique résistant aux rayons UV. Leur utilisation est limitée, chauffage de l'eau des piscines extérieures[7].



**Figure I-5:** Capteurs solaires plans sans vitrage [6].

#### I.3.4 Capteurs tubulaires sous vide:

Ce type de capteurs est à la fois très efficace mais plus coûteux de tous les capteurs solaires. Ces capteurs conviennent mieux à des applications à hautes températures. Il possède un absorbeur sélectif et perd peu de chaleur même dans les régions froides. Pour avoir un bon rendement on crée le vide. Les tubes sont munis d'une couche en baryum déposée sur l'intérieur du tube pendant la fabrication. Elle devient blanche en contact avec l'air et ainsi sert de témoin à la perte de vide [8].



**Figure I-6:** Capteur sous vide [8].

### I.3.5 Les centrales à capteur cylindro-parabolique:

La technologie des capteurs cylindro-paraboliques est actuellement la plus éprouvée des techniques de concentration solaire.

De nombreuses installations ont déjà été testées et commercialisées, dont certaines dans les années 80. L'installation typique est constituée de trois éléments principaux : le champ solaire, le système de transfert de la chaleur et le système de génération électrique. L'énergie thermique reçue au collecteur est absorbée par un tuyau métallique à l'intérieur d'un tube en verre sous vide. Le fluide (huile synthétique) qui circule à l'intérieur du tuyau, est chauffé à une température d'environ 400°C. Ce fluide est ensuite pompé à travers des échangeurs conventionnels afin de produire de vapeur surchauffée qui fait fonctionner une turbine/générateur électrique [9].

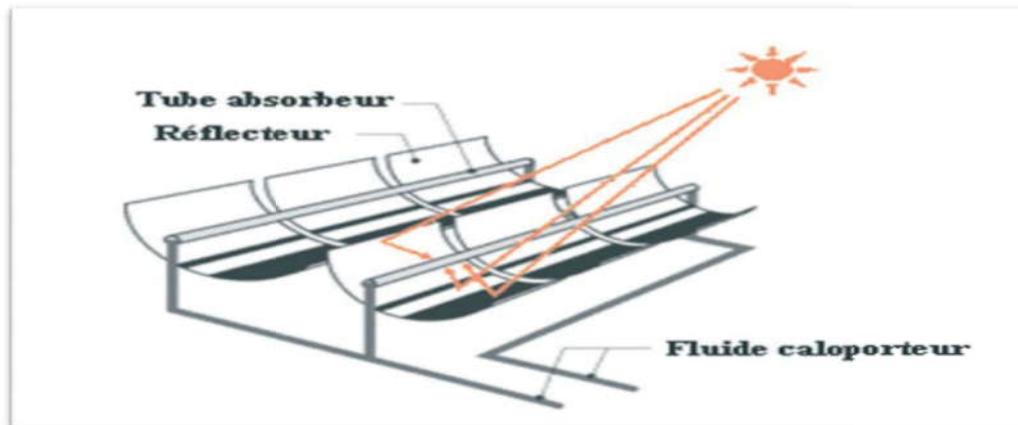


Figure I-7: Capteur à réflecteur cylindro-parabolique [1].

### I.3.6 Les centrales à capteurs paraboliques:

Les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome. Ils suivent le soleil sur 2 axes afin de concentrer le rayonnement solaire sur le foyer de la parabole réfléchissante. Le rapport de concentration est souvent supérieur à 2000 avec une température de 750°C. De toutes les technologies solaires, les capteurs paraboliques ont démontré les meilleurs rendements solaire-électricité (29.4%).

Un de leur principaux avantages est la modularité : ils peuvent en effet être installés dans des endroits isolés, non raccordés au réseau électrique. Ils possèdent donc également un important potentiel de développement, particulièrement dans des régions peu peuplées de certains pays du sud [9].



Figure I-8: Capteur parabolique avec moteur Stirling [9].

#### I.4 Éléments constitutifs du capteur solaire à air :

Les capteurs solaires thermiques se composent de plusieurs éléments, parmi ces éléments on peut citer:

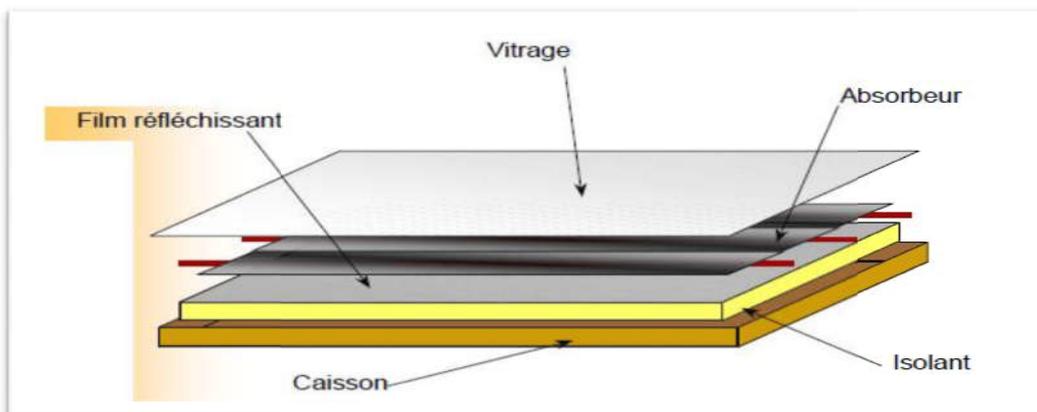


Figure I-9: Schéma descriptif d'un capteur plan.

### I.4.1 Absorbeur:

Une surface qui a un coefficient d'absorption élevé est un bon absorbant du rayonnement solaire, en général à une haute émissivité à l'infrarouge, une peinture noir mat qui absorbe 96% de l'énergie solaire sera également irradiée d'une grande partie de l'énergie sous forme de chaleur qui dépend de la température de l'absorbeur et la vitre. Idéalement, une surface sélective et celle qui absorbe toutes les longueurs d'onde solaire et qui n'émette aucune des longueurs d'onde de chaleur, de sorte que plus de chaleur pourrait être transférée au fluide de travail, car une telle surface,  $\alpha = 1$  et  $\varepsilon = 0$ . Les absorbeurs sélectifs fabriqués peuvent être proches de cet idéal [10].

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques thermo-physiques de quelques matériaux utilisés comme absorbeurs:

Métal	Conductivité Thermique $\lambda = (W/m.K)$	Chaleur massique $C_P = (J/kg.K)$	Masse volumique $\rho = (kg/m^3)$	Diffusivité thermique $\alpha = \frac{\lambda}{\rho C_P} \times 10^{-5} m^2/s$
Cuivre	384	398	9800	108
Acier inoxydable	14	460	7800	4
aluminium	204	879	2700	86

**Tableau I-1:** Caractéristiques thermo-physiques de quelques matériaux métalliques [10].

### I.4.2 Couverture transparente :

Ce sont les couvertures transparentes au rayonnement solaire mais opaques au rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde émis par l'absorbeur (effet de serre). Ils sont en général en verre de faible teneur d'oxyde de fer, parfois en plastique, mais celui-ci vieillit mal sous l'action des ultra-violet. En général on ne dépasse pas deux vitrages car au-delà le gain obtenu sur les pertes thermiques est compensé par les pertes de réflexion et réfraction. Les vitrages ont une épaisseur de 4mm environ et sont situés à 25 ou 40mm de l'absorbeur et munis de joints d'étanchéité au niveau du boîtier. Cette couverture doit assurer trois fonctions essentielles :

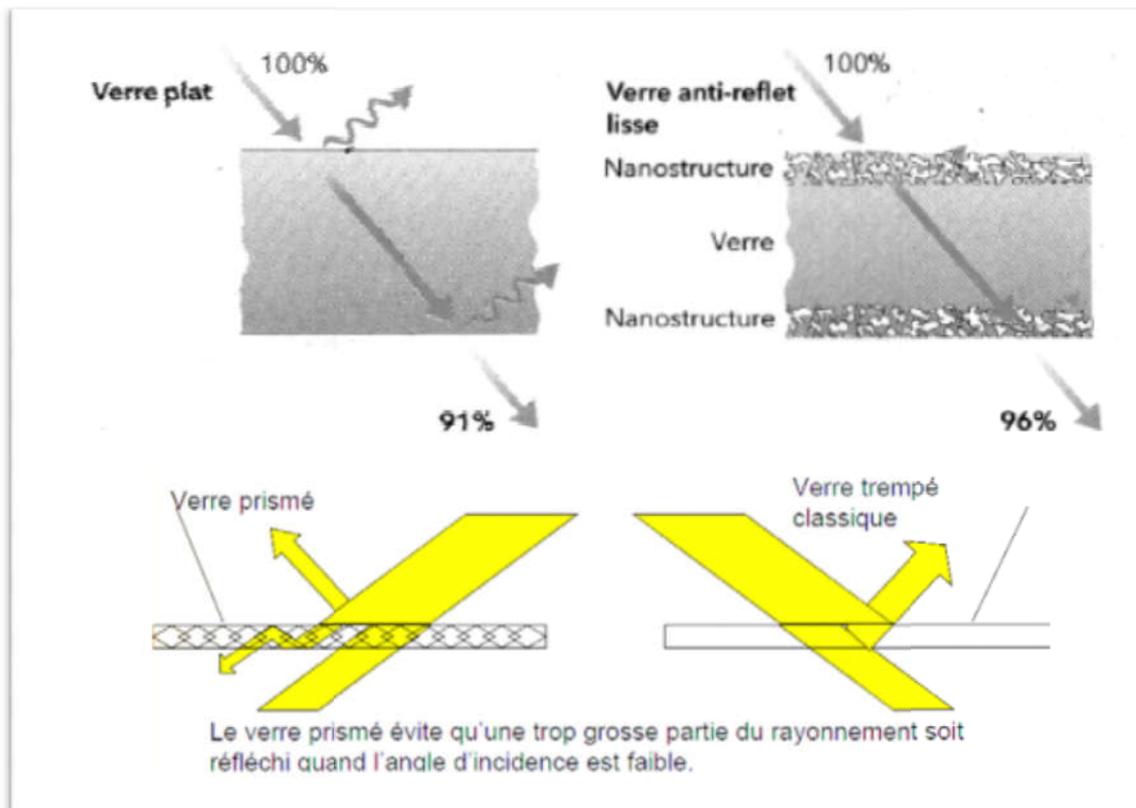
- Recevoir le maximum du rayonnement incident sans réflexion ni diffusion importante.
- Transmettre la plus part du rayonnement reçu.
- S'opposer aux déperditions thermiques par convection et rayonnement [11].

Actuellement, on utilise comme couvertures de capteur les matériaux suivants :

- **Verre :**

Avec une épaisseur de 3 mm, le verre laisse passer entre 84 % et 92 % du rayonnement incident (sous une incidence normale). Il est conseillé de prendre du verre contenant moins d'oxyde de fer pour s'approcher d'une transmission du verre pouvant atteindre 95% du rayonnement reçu. La transmission peut atteindre 96 % pour le verre anti reflet recouvert de part et d'autre d'une couche de nanostructure (**Figure I-10**).

Le verre primé évite qu'une trop grosse partie du rayonnement soit réfléchié quand l'angle d'incidence est faible. Le seul inconvénient des couvertures en verre consiste donc en leur fragilité vis à vis des chocs mécaniques et thermiques[5].



**Figure I-10:** type de verre pour les couvertures [5].

- **Polyméthacrylate de méthyle (Plexiglas):**

Ce matériau peut également remplacer le verre. Il est moins fragile mais il présente l'inconvénient de ne pas supporter une température de l'ordre de 95°C, son coefficient de transmission est plus faible que celui du verre, de l'ordre de 83% [5].

- **Polycarbonate :**

Le polycarbonate a l'avantage d'avoir une double paroi reliée par des alvéoles réduisant ainsi le problème de convection entre les deux plaques transparentes. Il transmet environ 84% du rayonnement reçu. Il a également l'avantage d'avoir une solidité mécanique à toute épreuve et une facilité au découpage pour l'utilisation, il réduit également l'inertie du capteur par sa légèreté.

De multiples améliorations se sont greffées par exemple, une seconde vitre est parfois disposée au dessus du système, ceci permet de diminuer les pertes par convection avec l'air ambiant.

Les pertes par rayonnement infrarouge sont réduites de 30% car la moitié des 50% d'infrarouges émise vers l'extérieur par la première vitre, est récupérée par la seconde vitre.

Cependant, il faut compter les pertes supplémentaires de lumière dues au remplacement d'un vitrage simple par une double paroi, en effet ces pertes varient avec le type de construction, avec la hauteur et l'azimut du soleil [5].

### **I.4.3 L'isolant:**

Limiter les pertes de transmission vers l'extérieur est primordial pour optimiser les performances du capteur. Nombreux sont les produits isolants qui peuvent convenir pour l'isolation des capteurs, mais il faut veiller à la tenue de la température, car une coupure de circulation du fluide caloporteur peut faire monter la température intérieure du capteur à plus de 150°C.

Les isolants généralement utilisés sont: le polystyrène, la laine de verre et les mousses polyuréthanes. Leur épaisseur varie de 4 à 8 cm [12].

On distingue trois grandes familles d'isolants :

- **Isolants minéraux**

Les isolants minéraux souvent utilisés sont : la pierre ponce " Feldspath", la laine de verre et la vermiculite.

- **isolants végétaux**

. Le bois sous forme de fibres agglomérées, le liège, la sciure de bois et les cendres des végétaux ,sont les matériaux souvent utilisés comme isolants végétaux.

- **Isolants organiques**

On cite à titre d'exemple ; la mousse de polyuréthane, la mousse de phénolique, le polystyrène expansé et le chlorure de polyvinyle qui sont les plus souvent utilisés [5].

Le tableau suivant regroupe certaines propriétés de ces isolants :

désignation	$\lambda$ (W/m.K)	$\rho$ (g/m <sup>3</sup> )	T <sub>max</sub> d'utilisation	Observations
laine de verre	0,034 à 0°C 0,053 à 200°C	70	150	sensible à l'humidité
mousse de verre	0,057	123	150	*****
Bois bois aggloméré sciure de bois	0,13 à 0,40 0,1 0,11	*****	*****	*****
vermiculite	0,12 à 0,40	*****	*****	*****
liège expansé	0,045	100	110	*****
polystyrène	0,042 0,040	15 17	85 85	moulé comprimé
polyuréthane	0,035	35	85	comprimé
polyuréthane	0,027	35 – 40	110	mousse

**Tableau I-2:** propriétés des isolants [5].

## I.5 Applications des capteurs solaires à air :

### I.5.1 Chauffage solaire aéraulique :

La plupart des systèmes de chauffage aéraulique avec capteurs solaires sont construits selon le principe suivant les capteurs à air sont placés sur le toit, un stockage constitué des galets ou de parpaings est situé dans la maison ou sous celle-ci. L'air mis en mouvement par un ventilateur peut être utilisé de différentes manières selon quatre modes de fonctionnement que l'on retrouve généralement dans toutes les réalisations.

- Chauffage direct de la maison par l'air sortant des capteurs solaires, avec éventuellement mise en route du chauffage d'appoint si l'énergie solaire est insuffisante.
- Charge du stock par l'air chaud provenant des capteurs si la température dans la maison est insuffisante et si il y'a ensoleillement.
- Décharge du stock si celui-ci est chargé et qu'il est nécessaire de chauffer la maison alors qu'il n'y a pas d'ensoleillement.
- Fonctionnement du chauffage d'appoint si le stock est déchargé et qu'il n'ya pas d'ensoleillement [11].

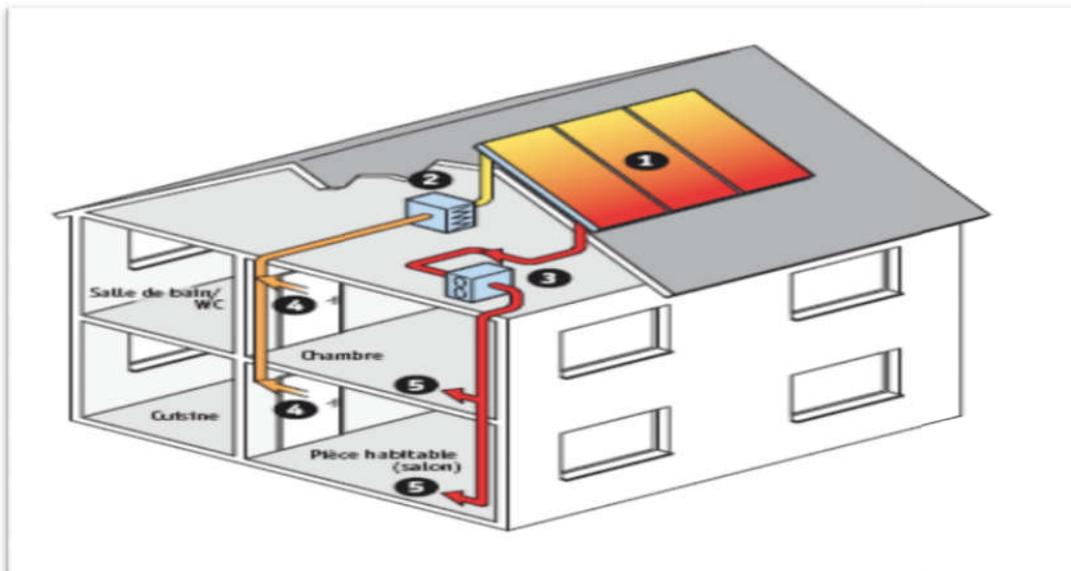


Figure I-11: Chauffages et climatisation des habitations.

- 1- Capteur solaire plan à air
- 2- Filtre
- 3- Ventilateur
- 4- Entrées d'air
- 5- Sorties d'air

Le capteur solaire à air s'intègre dans l'habitat de façon modulaire et complète les systèmes de chauffage existants. Il permet de réaliser des économies substantielles d'énergie et d'améliorer le bilan thermique des bâtiments sur la période hivernale et en mi-saison en apportant une source complémentaire de chauffage. Une régulation fait circuler l'air des locaux à travers le panneau dès que la température interne du panneau permet d'obtenir un gain significatif [7].

### I.5.2 Séchage :

Le séchage est un procédé d'extraction d'eau d'un solide, d'un semi-solide ou d'un liquide par évaporation. Cette opération nécessite une source de chaleur. Plusieurs techniques sont possibles pour sécher et conserver nos produits.

La technique de séchage courante, est généralement réalisée sur sol, elle est la plus utilisée dans les pays en voie de développement afin de préserver les denrées alimentaires, telles que les céréales, les légumes, la viande et le poisson, etc [7].

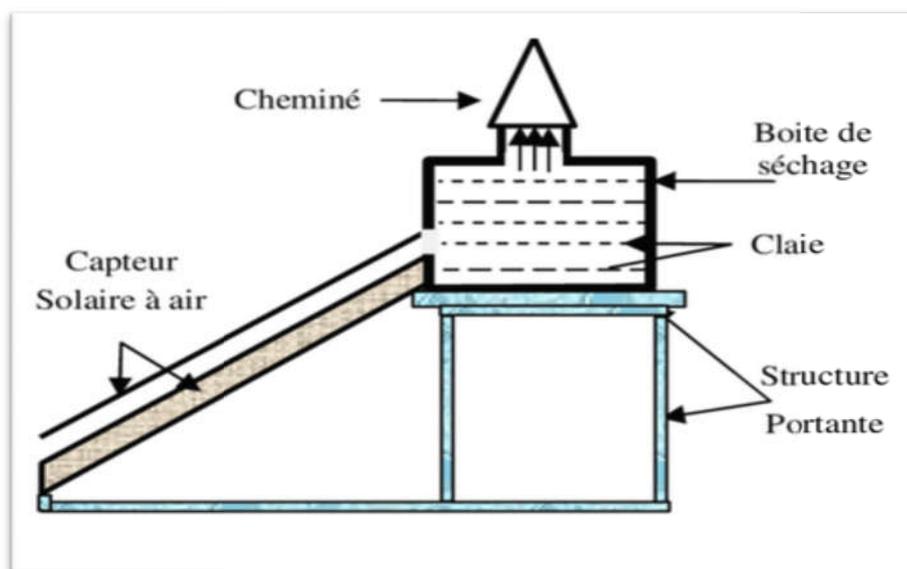


Figure I-12: séchoir solaire [13].

**I.5.3 Production de l'énergie mécanique:**

Dans les pays arides, ou dans les régions-isolées, il peut être très intéressant de réaliser des installations à partir d'une machine solaire, soit pour pomper l'eau, soit pour une production d'électricité. On peut utiliser un moteur à air chaud dont le principe est le suivant: l'air atmosphérique est comprimé dans un cylindre par un piston et chauffé par l'intermédiaire d'un capteur à air. L'air chauffé, en se détendant, pousse le piston. Celui-ci en revenant comprime l'air dont le reste de chaleur est évacuée à une source froide ; et ainsi de suite [7].

# **Chapitre II**

# **Etat de l'art**

## II.1 Introduction:

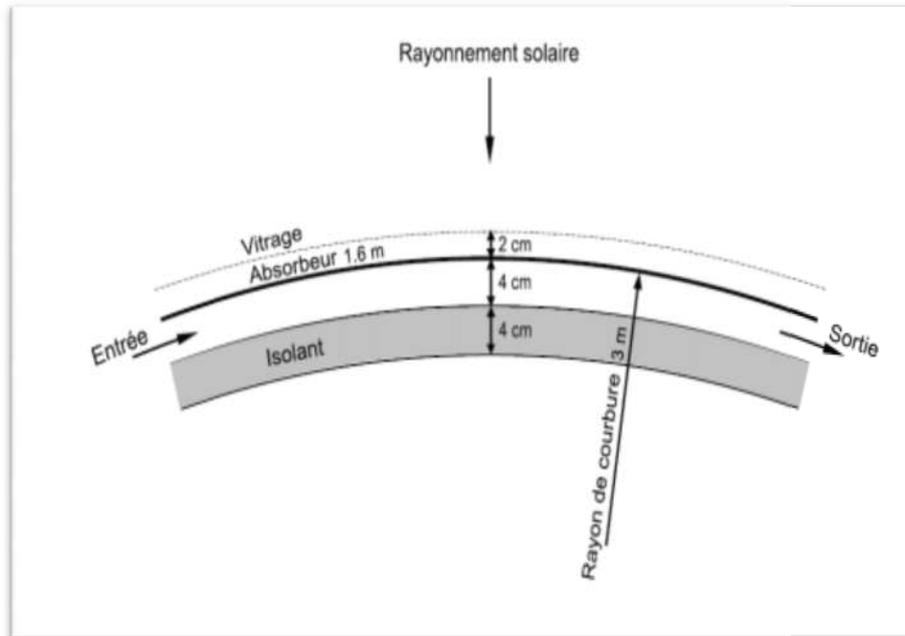
Il est recommandé d'analyser certains des résultats d'études ultérieures dans ce domaine avant de passer à l'étude expérimentale. Dans cette partie, nous allons voir certains des résultats les plus importants des études menées dans ce domaine au cours des dernières années, qu'elles soient théoriques ou expérimentales.

## II.2 Etudes effectuées sur les capteurs solaires:

Plusieurs études sur les capteurs solaires ont été réalisées ces dernières années. L'objectif principal de ces travaux été d'améliorer l'efficacité thermique des capteurs solaires et de trouver des solutions technologiques adéquates aux différents problèmes qui peuvent faire face au bon fonctionnement des ces systèmes.

Dans ce qui suit nous allons citer quelques travaux réalisés sur les capteurs solaires à air, en commençant par ceux réalisés à l'université de Biskra.

**Mahboub et al. [7]** ont proposé une nouvelle conception d'un insolateur courbé. Ils ont déduit que l'impact des forces centrifuges sur l'échange thermique dans l'insolateur curviligne semble être analogue à l'effet de rugosités artificielles en fournissant un bon mélange d'air suite à la formation d'un écoulement secondaire tourbillonnaire qui s'intensifie proportionnellement au débit d'air. Cependant, contrairement aux conduits rectilignes ayant des rugosités artificielles insérés perpendiculairement au sens de l'écoulement impliquant une séparation de l'écoulement et des zones de recirculation en amont et en aval de chaque élément de rugosités, les tourbillons dans le conduit courbé se forment dans le plan de sa section droite et le gradient de pression dans la direction de l'écoulement est favorable partout, ce qui implique en effet une perte de charge relativement faible.



**Figure II-1:** Schéma de l'insolateur courbé [4].

**Dans leurs étude, Aoues et al.** ont montré que l'addition de rugosités artificielles dans le canal inférieur du capteur solaire permet d'augmenter la surface d'échange entre le fluide et l'absorbeur, ce qui provoque l'augmentation de la température du fluide à la sortie du capteur[14].

**La thèse de Doctorat de MANAA S.[8]** est une contribution à l'étude théorique et expérimentale d'une chaîne énergétique capteur solaire-séchoir fonctionnant en convection forcée pour des applications du séchage de la tomate produite dans la région d'Adrar. A travers cette étude il a déterminé les performances thermiques instantanées du système conçu. Il s'avère que l'efficacité de cet élément est très sensible aux variations des paramètres climatiques. Les résultats expérimentaux obtenus comparés à ceux issus des modèles existants s'avèrent concluants.

Il ressort des valeurs enregistrées que la température de l'absorbeur garnis des chicane est plus élevée que dans le cas d'absence des chicanes et que le rendement thermique du capteur augmente en augmentant le débit d'air. Ainsi, le rendement obtenu par la simulation est celui obtenu expérimentalement sont très proches (**Figure II-2**).

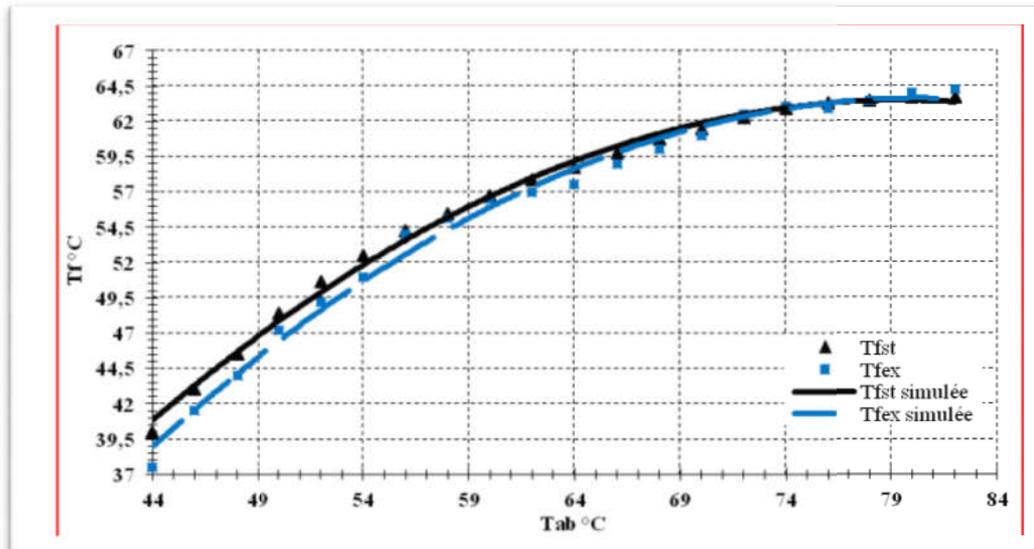


Figure II-2: Variation de la température de sortie du fluide ( $T_{fs}$ ) avec la température de l'absorbeur ( $T_{ab}$ ).

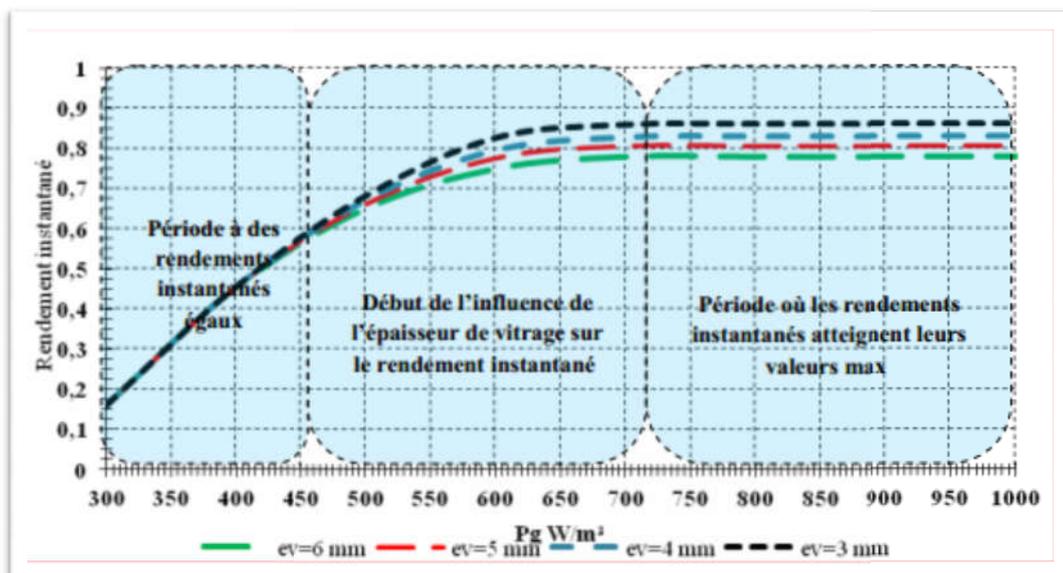


Figure II-3: Variation du rendement simulé en fonction de l'épaisseur du vitrage.

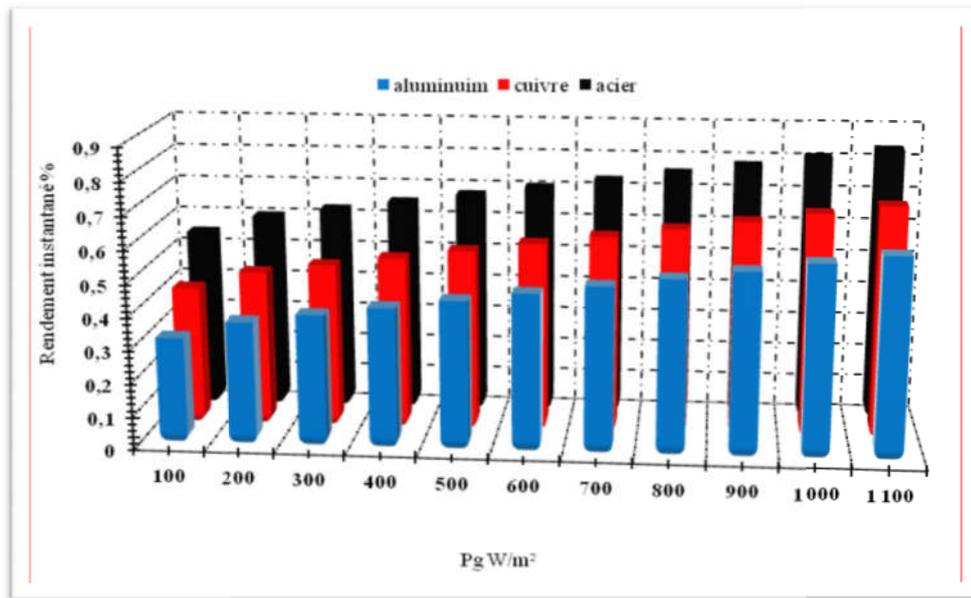


Figure II-4: Variation du rendement instantané en fonction de la matière de l'absorbeur[8].

Le travail de Labeled et al.[15] A porté sur l'étude expérimentale de sept (07) configurations (Figure II-5 et 6). En premier lieu, ils ont décrit les différentes configurations étudiées. De ce fait, ils ont opté à combiner trois solutions technologiques, à savoir, i) introduire différentes géométries de rugosités dans la veine d'air mobile, ii) inverser le sens de l'écoulement de l'air dans le capteur, iii) faire circuler le fluide caloporteur de part et d'autre de la plaque d'acier inférieure (double passage). En deuxième phase, ils ont exposé les résultats qui traduisent l'influence des différentes solutions technologiques proposées sur les performances thermiques et la consommation électrique d'un capteur solaire en comparant les rendements thermiques et les pertes de charge pour tous les cas étudiés.

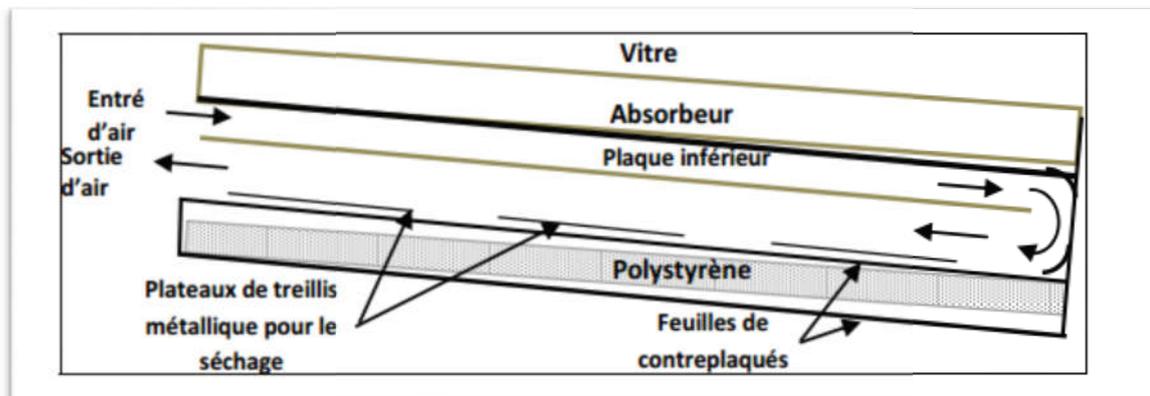
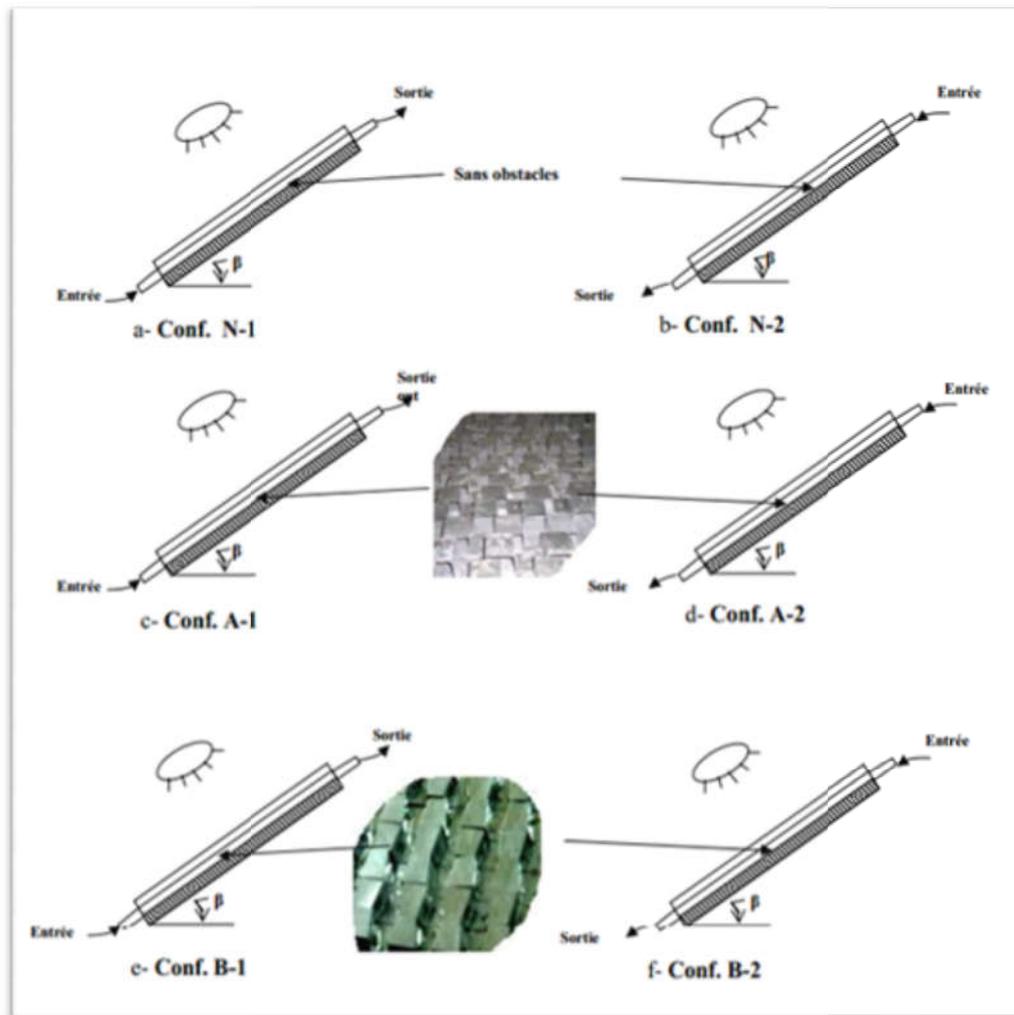
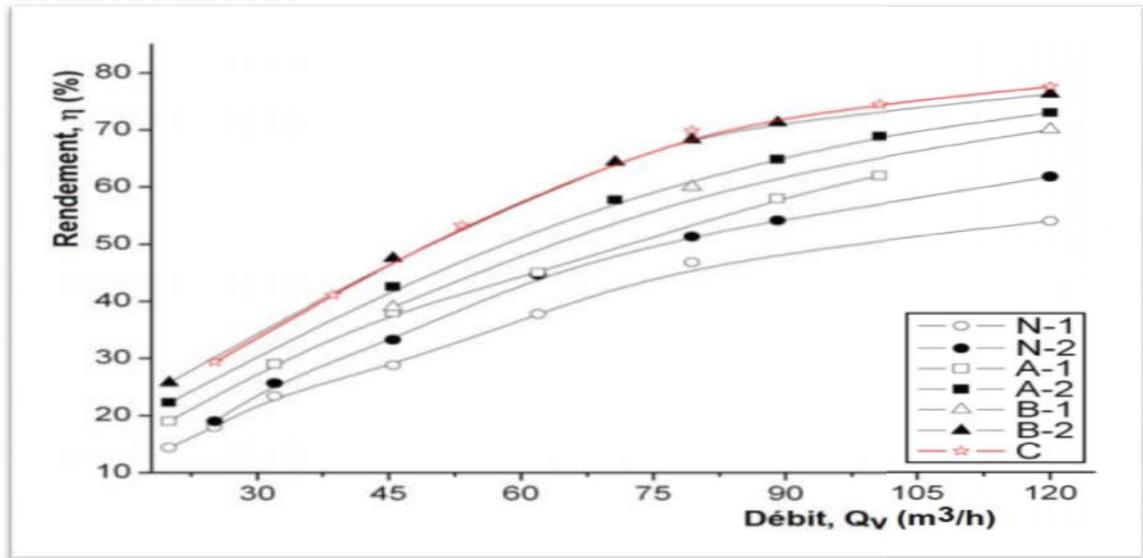


Figure II-5: Schémas du capteur C (double passage d'air) [15].



**Figure II-6:** Présentation des différentes configurations étudiées [11].

Il ressort des valeurs enregistrées que l'adjonction de chicane, de forme trapézoïdale avec une incidence normale à l'écoulement et pour le cas de la configuration et la disposition choisies, ( **Figure II-7**) paraît la plus avantageuse par rapport à celle des chicanes rectangulaires et que dans les deux cas, le rendement du capteur est nettement supérieur à celui d'un capteur sans chicanes, une amélioration de 15 % pour un débit de 80 m<sup>3</sup>/h est remarquée pour le cas d'un capteur garni de chicanes trapézoïdales, et que par exemple pour avoir un rendement de 50 % avec un capteur sans chicanes, le débit nécessaire est de 75 m<sup>3</sup>/h, alors qu'avec un capteur garni de chicanes trapézoïdales, le débit nécessaire n'est que de 45 m<sup>3</sup>/h, autrement dit.



**Figure II-7:** Comparaison des rendements des différentes configurations en fonction du débit[15].

Le travail de thèse de **AISSAOUI, F.**[7] axé sur les énergies renouvelables, a pour finalité de quantifier l'échange thermique par le biais d'une étude expérimentale accompagnée d'une modélisation mathématique en régime stationnaire et transitoire des différents types de capteurs solaires plans à air simple et double passe avec et sans chicanes. Les équations des bilans énergétiques ont été établies sur les différents composants des insolateur (vitre, absorbeur, fluide caloporteur et la plaque inférieure). En outre, une évaluation détaillée du rendement thermique et une étude paramétrique des capteurs solaires à air avec des rugosités artificielles ont été faites. La simulation numérique a été vérifiée par une analyse expérimentale de la performance thermique d'un panneau solaire placé dans le site de Biskra. Un bon accord qualitatif et quantitatif entre les résultats expérimentaux et numériques a été constaté.

D'après les résultats de l'étude il s'avère que, le rendement instantané est une fonction proportionnelle de l'irradiation solaire globale.

- L'augmentation de la température ambiante favorise l'amélioration du rendement instantané du capteur.

**A. Youcef** [16] a présenté une investigation numérique du comportement hydrodynamique et thermique de l'écoulement d'air dans un canal rectangulaire munie de chicanes. L'effet de l'insertion des chicanes a été analysé. Les équations de Navier-Stokes et de l'énergie, sont résolues par la méthode des volumes finis à l'aide de l'utilisation de l'algorithme

Simple. Les contours de température et de vitesse ont été obtenus pour différents cas traités. L'étude a montré que, une augmentation de la vitesse près des chicanes générée tout d'abord par la présence des zones de recirculation qui accompagnent par un changement brusque du sens d'écoulement.

Les résultats numériques, obtenus sont présentés pour analyser le comportement dynamique et thermique d'un écoulement d'air dans un capteur solaire plan à air avec chicanes.

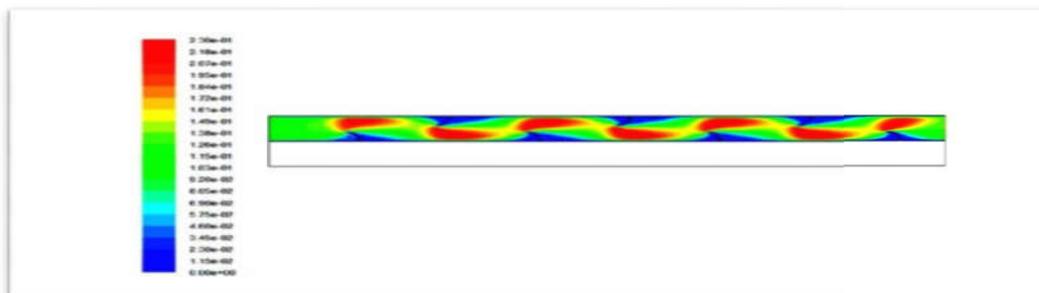
Les profils et la distribution de la vitesse montrent des zones de recirculation relativement élevée au dessus des facettes de chaque chicane. La perturbation la plus élevée est obtenue en amont de chaque chicane ( **Figure II-8**).

Ces zones de circulation ( **Figure II-10** ) sont responsables de l'augmentation de la température du fluide caloporteur. La présence des ailettes réduit la région d'entrée, et c'est dans cette partie où les échanges thermiques sont les plus importants. La température de l'air augmente dès que le fluide se trouve de nouveau en contact avec les chicanes et ceci se répète d'une manière analogue d'une cellule à une autre.

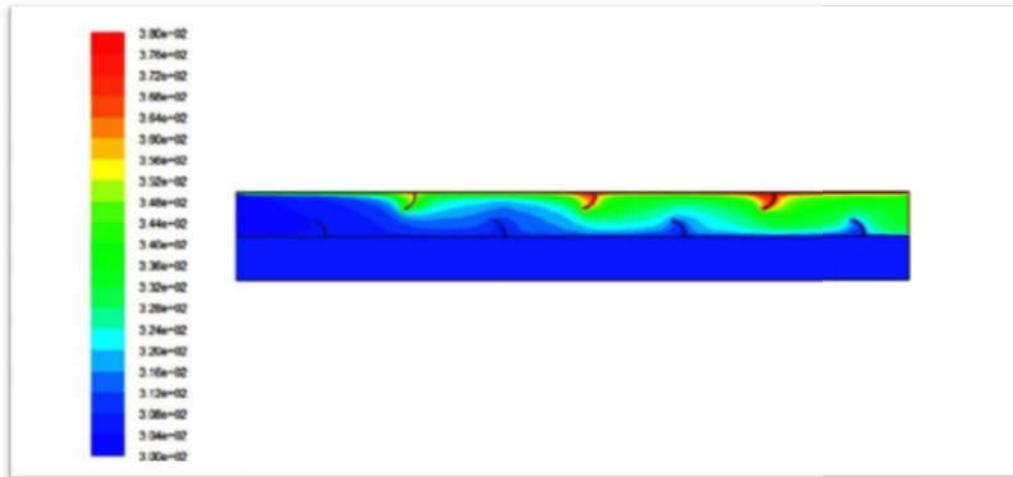
Cette étude a montré que l'usage des chicanes 'aile delta' dans la veine dynamique d'un capteur solaire plan demeure un moyen efficace pour l'amélioration de ses performances.



**Figure II-8:**Géométrie du problème.



**Figure II-9:** Présentation du contour de la vitesse (m/s) dans le capteur.



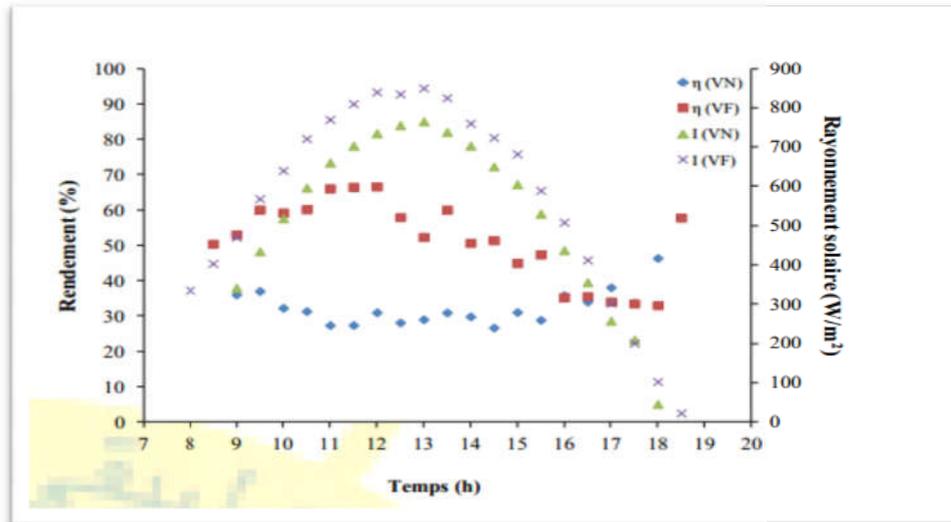
**Figure II-10:** Présentation du contour de température (K°) dans le capteur [16].

**R. Khama et al.** [17] Ont étudié un capteur solaire plan à air pour le séchage des fruits et légumes, sous les conditions météorologiques de la ville de Ouargla au sud-est de l'Algérie. le capteur solaire plan à air a été face au sud afin de maximiser le rayonnement solaire incident. Il a été incliné d'un angle d'environ  $32^\circ$ . Les auteurs ont arrivé aux résultats suivants:

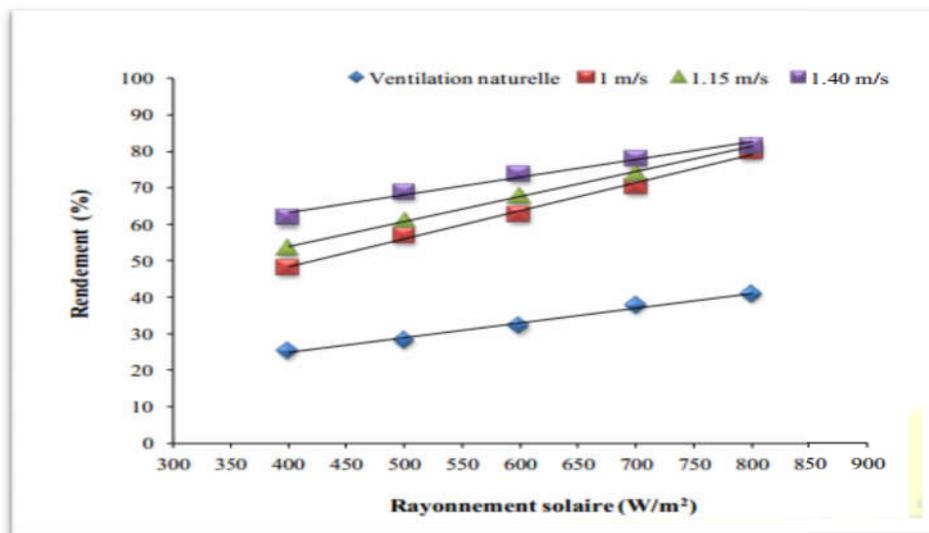
□ L'augmentation du rayonnement solaire n'a plus d'influence sur les températures du capteur solaire en ventilation naturelle (mode passif) qu'en ventilation forcé (mode actif)

□ En ventilation naturelle, les valeurs du rendement thermique du capteur solaire varient entre 26.61 et 46.32% avec une moyenne de 32.32%, alors qu'en ventilation forcée, elles varient entre 33.45 et 66.56% avec une moyenne de 51.33%(**Figure II-11**) .

□ Le rendement du capteur solaire augmente linéairement avec l'augmentation du rayonnement solaire ( $400 \leq I \leq 800 \text{ W/m}^2$ ) pour des vitesses de l'air fixées entre 1 et 1.40 m/s, mais l'effet de la vitesse de l'air sur l'efficacité du capteur solaire est négligeable pour un rayonnement solaire voisin de  $800 \text{ W/m}^2$  (**Figure II-12**).



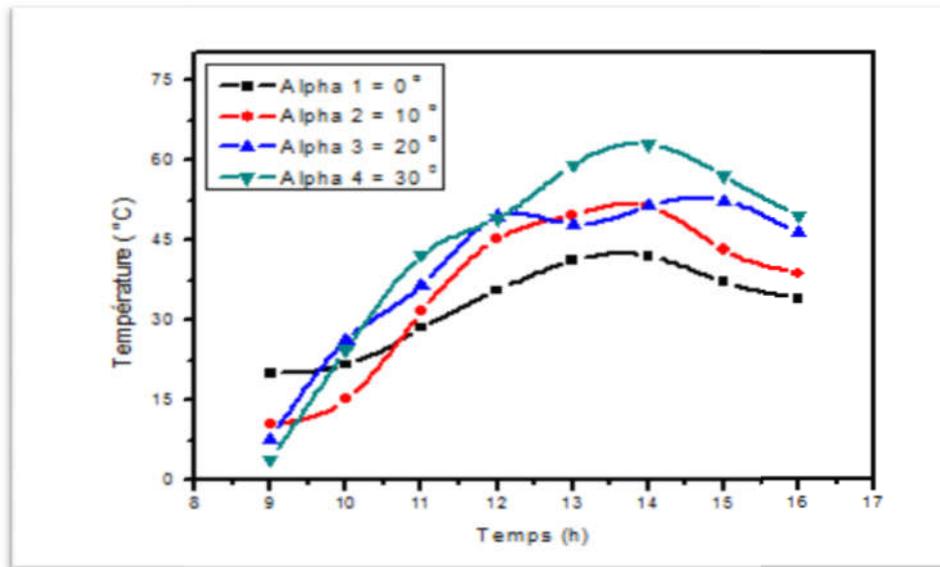
**Figure II-11:** Variation du rendement du capteur solaire en fonction du solaire et du temps.



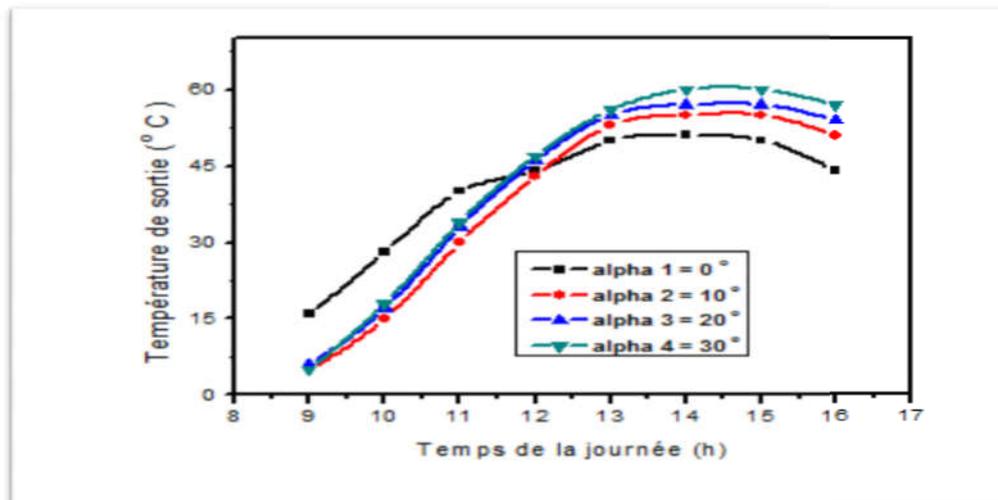
**Figure II-12:** Effet du rayonnement solaire sur le rendement pour différentes vitesses de l'air [17].

L'étude de BOUMESLI et al [18] a pour but, la détermination des performances thermiques d'un capteur solaire à l'université de Laghouat. Cette étude vise à déterminer l'évolution de certains paramètres tels que : la température de sortie du fluide caloporteur (air), la température de l'absorbeur et la température de Plexiglas sous l'effet de l'inclinaison du capteur pour différents angles  $\alpha$  et pour un débit volumique égale à 0.01002036 (m<sup>3</sup>/s).

Cette étude montre que la température de Plexiglas croît quand le temps croît pour les angles étudiés et que la température de l'absorbeur augmente avec l'augmentation de l'angle alpha ( voir la **Figure II-13**). Tandis que de la température de sortie du fluide caloporteur (air) augmente avec le temps, elle ainsi proportionnelle à l'angle d'inclinaison alpha (**Figure II-14**).



**Figure II-13:** Evolution de la température de Plexiglas en fonction du temps de la journée pour différents angles d'inclinaison.



**Figure II-14:** Evolution de la température de sortie en fonction du temps de la journée pour différents angles d'inclinaison [18].

**II -3 Conclusion:**

D'après la synthèse bibliographique de certains travaux étudié dans ce chapitre; nous avons constaté que:

La forme courbée du capteur favorise l'échange thermique entre le fluide caloporteur (air) et l'absorbeur ce qui conduit à l'augmentation du rendement thermique du capteur.

L'adjonction des rugosités artificielles dans le canal d'écoulement améliore le rendement thermique du capteur.

Le rendement thermique augmente avec l'augmentation du débit du fluide caloporteur.

Les capteurs dont l'air caloporteur est dirigé vers le bas ont un rendement meilleurs qu'aux capteurs dont l'air est dirigé vers le haut.

La double circulation conduit a une amélioration du rendement thermique.

D'autres études [17 ,18].ne méritent pas d'être cités dans ce mémoire vue que les résultats et les constatations ne sont pas logiques et sont très loin du raisonnement scientifique.

**Chapitre III**

**Instruments**

**et Mesures**

### III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une description détaillée du capteur curviligne étudié. Les caractéristiques du site où les mesures ont été effectuées, les conditions climatiques initiales, la démarche expérimentale suivie ainsi que les instruments de mesure utilisés afin d'évaluer les performances thermiques de ce dispositif.

### III.2. Caractéristiques du site d'expérimentation (Biskra) :

Cette étude a été effectuée à l'Université de Biskra pendant la période du 03 au 06 Mars 2019, sous un ciel clair et un vent de vitesse faible à modérée. La région de Biskra est une région saharienne caractérisée par une latitude de  $34^{\circ}50'43.65''$  Nord, et par une longitude de  $5^{\circ}44'49.27''$  Est. Son altitude par rapport au niveau de la mer est d'environ 107 mètres, où la pression atmosphérique correspondante de cette altitude est 1,004 bar. En l'absence d'un système d'acquisition de données, les paramètres de fonctionnement du capteur ont été enregistrés à la main chaque demi-heure à partir de 09 :00 jusqu'à 16:00.

### III.3. Présentation du dispositif expérimental utilisé :

L'étude expérimentale effectuée dans ce travail est portée sur un capteur curviligne à simple passe d'air en dessous de l'absorbeur (Figure III.1), il s'agit d'un prototype initial fabriqué par Dr. Mahboub ; Maître de conférences au Département de Génie Mécanique de l'Université de Biskra, dans le cadre de ses travaux de thèse de doctorat (2013). Ce prototype est assez similaire à un capteur conventionnel à lisse plan, excepté la forme de courbure caractéristique de ce capteur. Ce capteur contient les éléments suivants:

- a) Une plaque en Plexiglas transparent de 3 mm d'épaisseur, utilisée comme couverture au lieu du verre à cause de sa souplesse, malgré la dégradation de ses caractéristiques optiques à travers l'exposition fréquente au soleil.
- b) Une tôle d'acier galvanisé de 1 mm d'épaisseur et de 0.8 m × 1.6 m de surface peinte en noir mat.
- c) Un panneau isolant de polystyrène de 4 cm d'épaisseur pour assurer l'isolation de la surface arrière de du capteur ;
- d) Un Panneau Isorel de 3 mm d'épaisseur servant de plaque inférieure du conduit d'écoulement et protégeant le polystyrène contre le dommage possible causé par le contact direct avec l'air chauffé.

- e) Un panneau contreplaqué de 3 mm utilisé comme couverture arrière protégeant le polystyrène contre les agents extérieurs et atmosphériques.
- f) Un coffre en bois dur qui peut assurer l'isolation latérale et maintenir tous les éléments de l'insolateur solidement ensemble.

A l'entrée du conduit d'écoulement (de dimensions 4 cm × 0.8 m × 1.6 m) se trouve une rangée de 21 trous de 2 cm de diamètre à travers lesquels l'air ambiant passe à l'intérieur de l'insolateur. L'air chauffé est évacué par la suite à travers une section convergente à la sortie du conduit d'écoulement.



**Figure III-1** : Photo du capteur solaire utilisé

#### **III.4. Maintenance du dispositif expérimental :**

Avant d'entamer le processus de l'expérimentation, il convient de préparer et de vérifier l'état du panneau que nous allons utiliser pour les mesures, à travers les étapes suivantes (voir Figures III-2, II-3) :

- a) Démonter l'ancienne couverture ;
- b) Nettoyez l'insolateur de la poussière et de la saleté accumulée ;
- c) Affiner l'absorbeur avec du papier verre et le peindre en noir mat ;
- d) Monter la nouvelle couverture (en plexiglas transparent) sur le capteur ;
- e) Vérifier les fuites dans le panneau ;
- f) Vérifier et étalonner les instruments de mesure.



**Figure III-2** : Le capteur curviligne étudié avant et après la préparation.

### III.5. Caractéristiques techniques des différents composants du capteur :

- **Vitre :**
  - Matériau : plexiglas ;
  - Chaleur spécifique,  $C_p = 1.465 \text{ (kj/kg.l)}$ ;
  - Masse volumique,  $\rho = 1189 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ .
- **Isolation :**
  - Matériau : Polystyrène ;
  - Chaleur spécifique,  $C_p = 0.040 \text{ (kj/kg.l)}$ ;
  - Masse volumique,  $\rho = 1500 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  ;
  - Conductivité thermique,  $K = 0,04 \text{ W/m.K}^\circ$ .
- **Absorbeur :**
  - Matériau : Acier galvanisé peint en noir mat ;
  - Coefficient de conductivité thermique  $K_c = 180 \text{ W/mK}^\circ$  ;
  - Coefficient d'absorption  $\alpha_c = 95\%$  ;

- Coefficient d'émission  $\epsilon_c = 90\%$ .

### III.6. Instruments de mesures :

#### III.6.1. Thermocouples :

La température de l'air ambiant à l'entrée et à la sortie du capteur a été mesurée en utilisant deux thermocouples de type Thermomètre-LCD-Digital. chaque thermocouple est connecté à un afficheur numérique.



Figure III-3 : Thermomètre-LCD-Digital.

#### III.6.2. Pyranomètre :

Le rayonnement solaire global (en  $w/m^2$ ) a été mesuré avec un pyranomètre de type PYR1307 étalonné avec un pyranomètre de type Frederiksen. Cet instrument a été placé avec la même inclinaison et l'orientation du capteur.



Figure III-4 : Pyranomètre de type PYR1307.

### III.6.3. Anémomètre :

Les débits de l'air à la sortie du capteur ont été mesurés par un anémomètre à hélice de type KIMO-LV110 comme présenté dans la Figure III-6.



Figure III-5 : Anémomètre à hélice.

Tableau III -1 : Caractéristiques techniques des instruments de mesure.

Instrument	Plage de mesure	Exactitude
Pyranomètre	199,9 et 1999 W/m <sup>2</sup>	< 10W/m <sup>2</sup> ou 5% de la lecture
Anémomètre à hélice	0 à 65000 m <sup>3</sup> /h	±3% de la lecture ±10 m <sup>3</sup> /h
Thermomètre digital T <sub>e</sub> et T <sub>s</sub>	-30 à 110 °C	±1 °C
Thermomètre digital T à l'intérieur du canal	-40 à 80 °C	0.1 °C

### III.7. Protocole expérimental :

- Le capteur a été orienté face au sud avec un angle d'inclinaison égale à 40° par rapport au plan horizontal.
- Tous les tests ont été effectués pour le cas d'un capteur lisse (sans chicanes).
- Les mesures ont été faites entre 9:00h à 16:00h, avec un intervalle de temps de 30 minutes.

- La valeur du débit d'air est fixe pour chaque expérience
- Deux sondes de température ont été placées à l'entrée et à la sortie du capteur, et six sondes dans le canal d'écoulement dans la moitié gauche du panneau (en considérant que les structures convectives qui se développent à l'intérieur du capteur sont symétriques).

**Chapitre IV**

**RESULTATS**

**ET**

**DISCUSSION**

### IV.1. Introduction:

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats des tests effectués sur le capteur solaire curviligne, réalisés auprès du hall technologique du département de génie mécanique à l'université de Biskra. Ce travail est une partie des travaux de recherche réalisés au Laboratoire de génie Mécanique (LGM) sur différentes configurations de capteurs solaires.

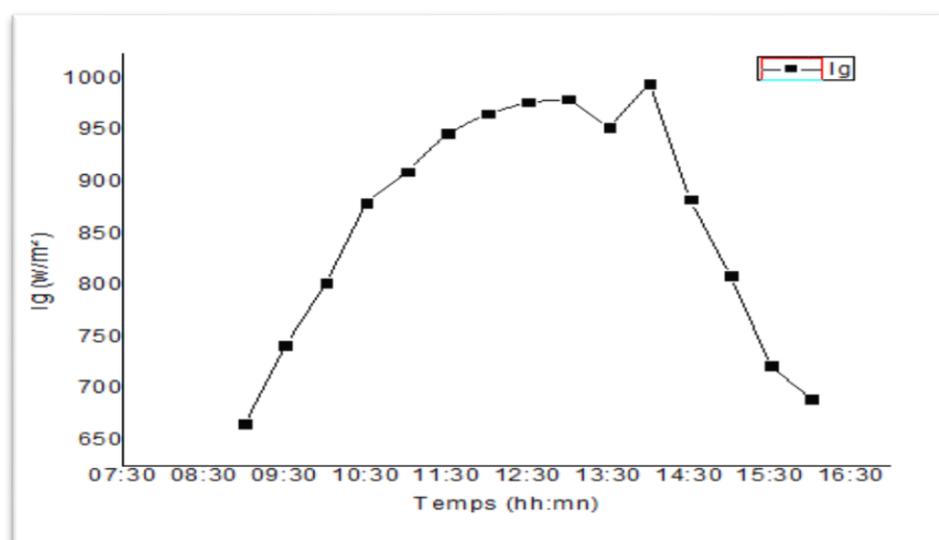
Les mesures réalisées ont permis d'enregistrer la variation de température à l'entrée et à la sortie du capteur en fonction du temps ainsi que la distribution de la température dans le canal d'écoulement pour différents débits d'air caloporteur.

### IV.2. Conditions Climatiques:

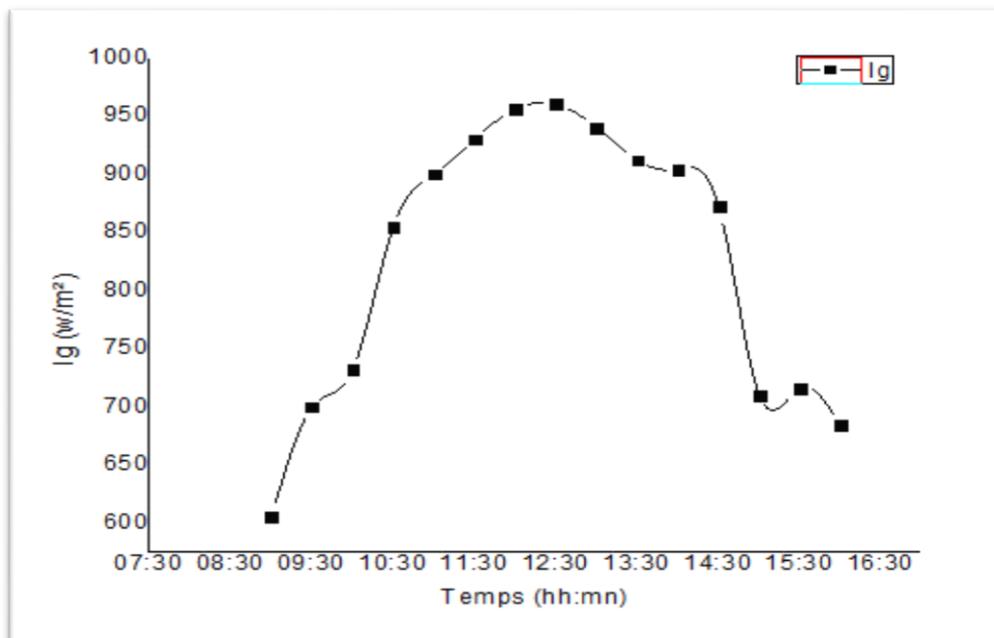
Les essais expérimentaux ont déroulés à-côté du hall technologique de l'université de Biskra dans des journées successives (4, 5 et 6/03/2019). Les conditions climatiques durant ces journées ont été très semblables.

#### IV.2.1 La variation du rayonnement solaire global journalier

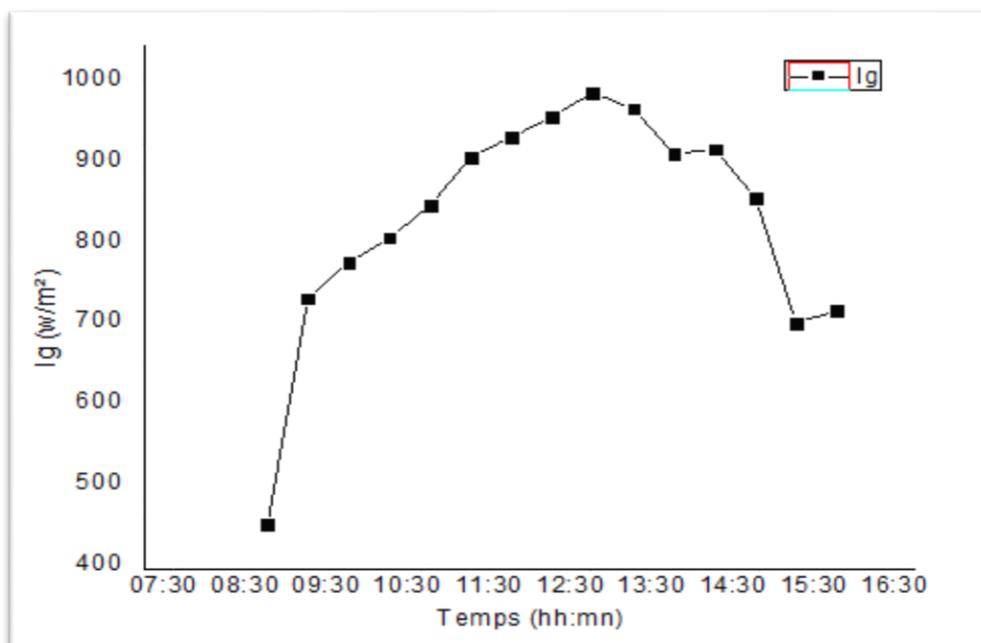
La mesure du rayonnement solaire global est une tâche importante dans les applications de l'énergie solaire. Le fonctionnement des capteurs est lié directement au rayonnement global reçu par l'insolateur. Le rayonnement solaire global mesuré pour trois journées successives (04/03/2019, 05/03/2019 et 06/03/2019) est présenté sur les figures IV-1, IV-2 et IV-3 respectivement.



**Figure IV-1:** Variation du rayonnement solaire global en fonction du temps (le 04 Mars 2019).



**Figure IV-2 :** Variation de rayonnement solaire global en fonction du temps (le 05 Mars 2019).



**Figure IV-3 :** Variation du rayonnement solaire global en fonction du temps (le 06 Mars 2019).

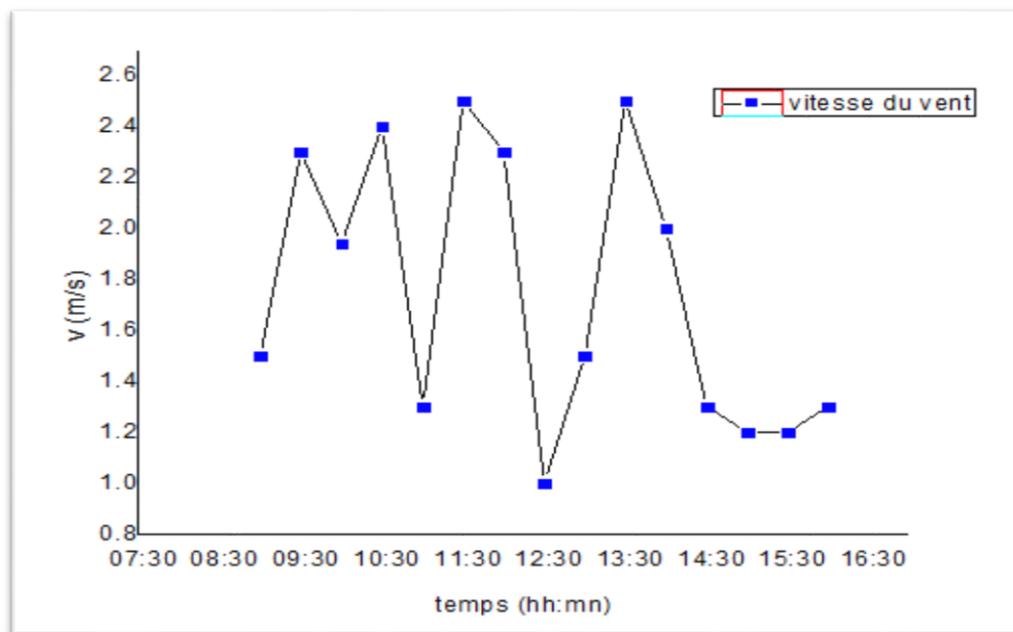
A partir des figures (IV-1, IV-2 et IV-3) représentées ci-dessus, on peut déduire que le rayonnement solaire prend des valeurs relativement moyennes à partir de 600  $\text{w/m}^2$  au début de l'expérience (9:00 du matin), puis il continue à augmenter pour atteindre sa valeur

maximale de l'ordre 950-1000  $\text{w/m}^2$  (le midi solaire vers 12:30). Après cette valeur maximale, la courbe du rayonnement commence à diminuer pour atteindre jusqu'à environ 700  $\text{w/m}^2$  à la fin de l'expérience (16:00 du soir).

#### IV.2.2 Variation de la vitesse du vent:

L'effet de la vitesse du vent est important, il peut influencer sur les performances thermiques du capteur, surtout lorsque la vitesse du vent s'approche de 3m/s. La variation de la vitesse du vent mesurée pour trois journées successives (04, 05 et 06/03/2019) est présentée sur les figures IV-4, IV-5 et IV-6 respectivement.

Nous constatons sur les figures que, la vitesse du vent n'est pas stable, mais que ses valeurs n'ont pas dépassé trois (3 m/s) dans la première journée, alors que durant la deuxième et la troisième journée été légèrement stable et modérée par rapport au première journée. Nous avons enregistré ainsi, quelques pics vers les midi-solaires



**Figure IV-4 :** Variation de la Variation de la vitesse du vent en fonction du temps en fonction du temps (le 04 Mars 2019).

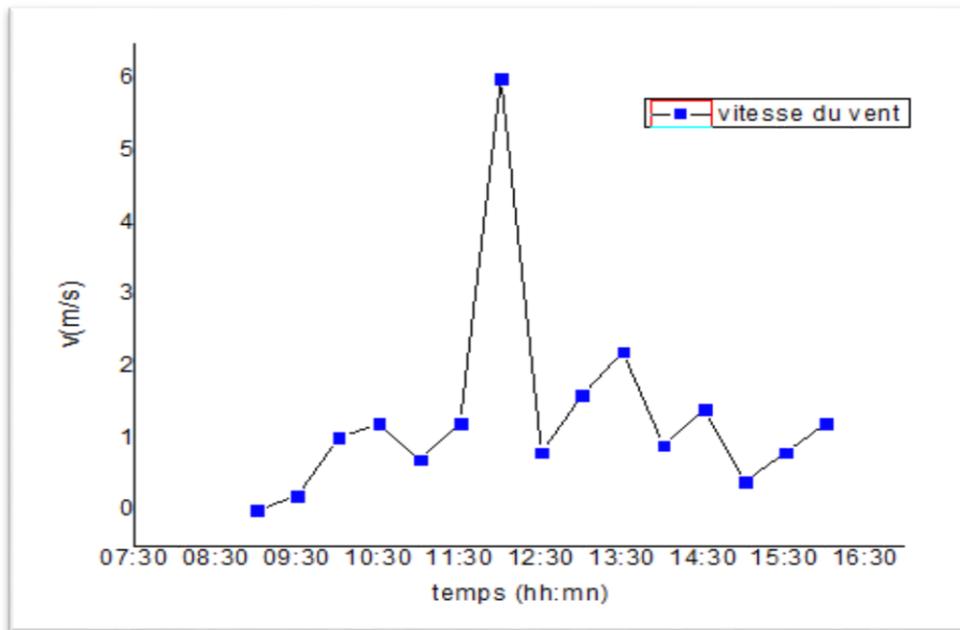


Figure IV-5 : Variation de la vitesse du vent en fonction du temps (le 05 Mars 2019).

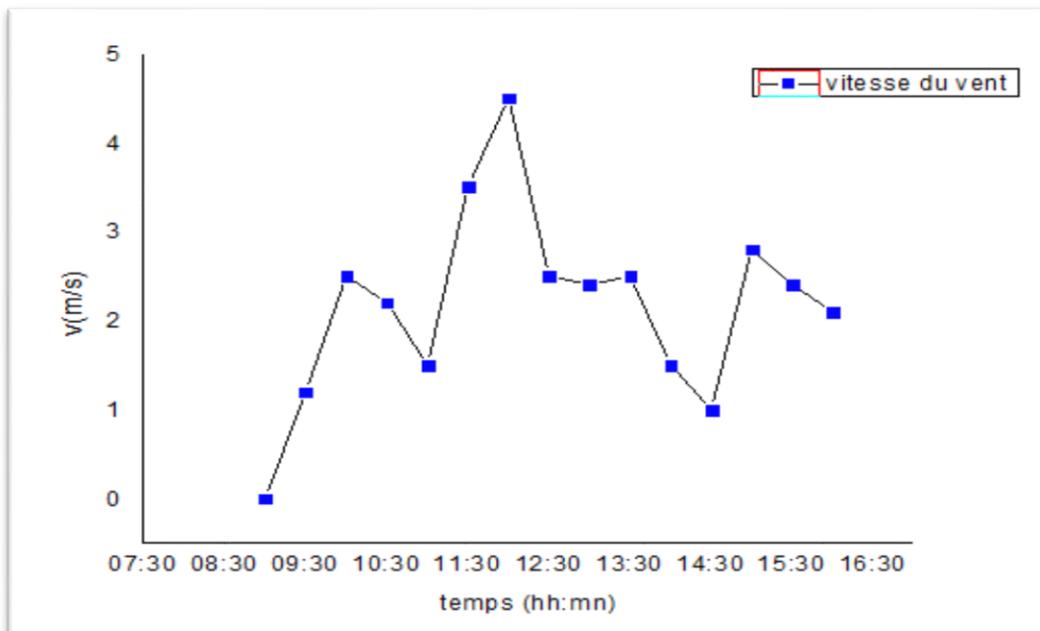
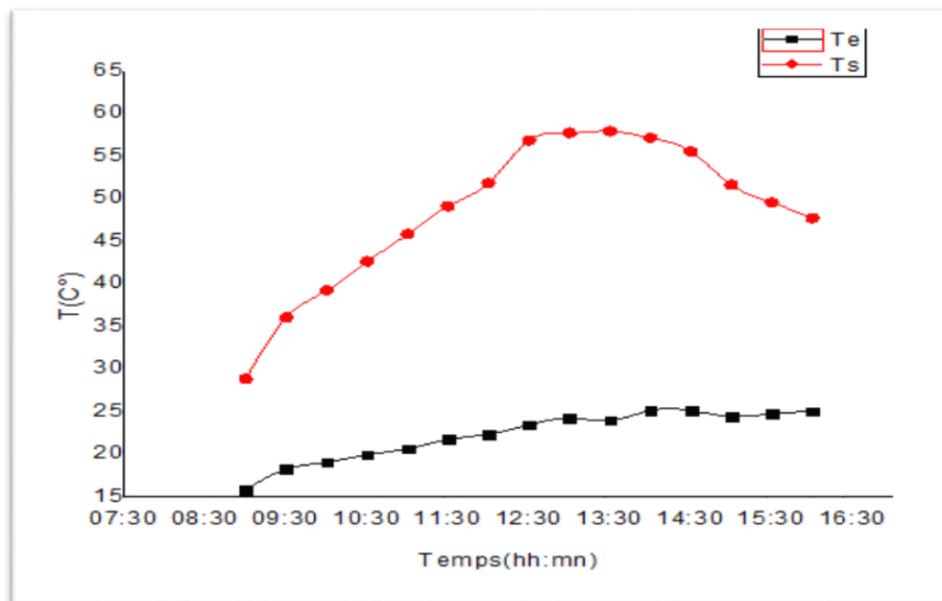


Figure IV-6 : Variation de la vitesse du vent en fonction du temps (le 06 Mars 2019).

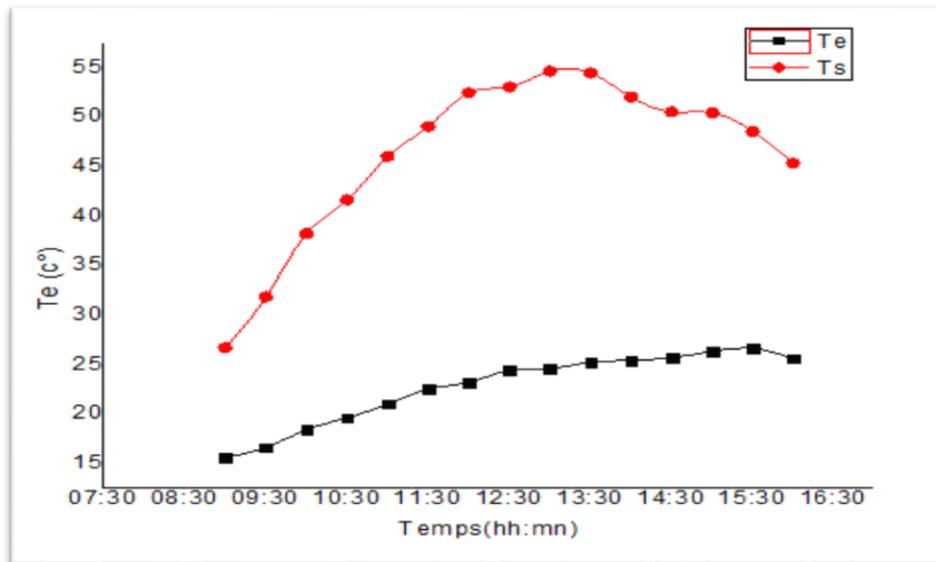
### IV.3. Variation de la température de l'air à l'entrée et à la sortie du capteur:

Les variations de la température d'entrée et celle de sortie du fluide de travail (l'air) en fonction du temps mesurées pour les trois jours étudiés (04/03/2019, 05/03/2019 et 06/03/2019) sont présentées sur les figures IV-7, IV-8 et IV-9 respectivement.

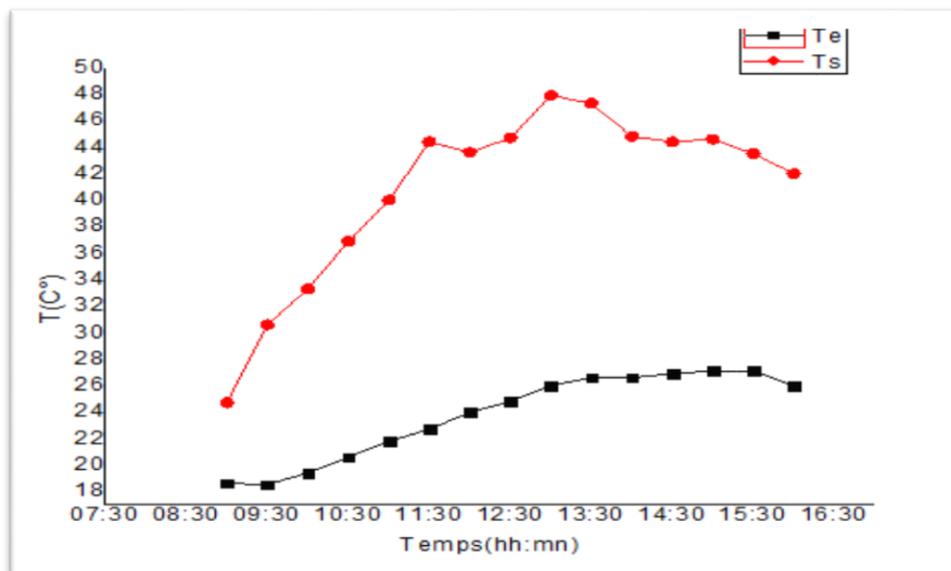
A partir des résultats expérimentaux représentés sur les figures IV-7 jusqu'à IV-9, on peut constater que la courbe de la température de sortie (dans chaque jour) commence par des valeurs modérées comprise entre 24.7 °C et 28.8°C vers 09:00 du matin, l'écart de la température au début des expériences était 13 °C, 11.1°C et 6.1 °C pour les jours 04 Mars ( $\dot{m} = 0.02112 \text{ kg/s}$ ), 05 Mars ( $\dot{m} = 0.0264 \text{ kg/s}$ ) et 06 Mars ( $\dot{m} = 0.03696 \text{ kg/s}$ ) respectivement. Ensuite, la courbe augmente rapidement jusqu'à ce qu'elle se stabilise à midi solaire. La température du fluide pour les trois jours étudiés atteint jusqu'à 57.9 °C, 54.6 °C et 47.9 °C et l'écart de la température dans ce temps atteint son maximum (33.5 °C pour le 04 Mars ; 30 °C pour le 05 Mars et 20.7 °C pour le 06 Mars). Après midi solaire, la courbe de température de sortie du fluide commence à diminuer progressivement jusqu'à environ 47.7 °C à 42°C, l'écart de la température comprise entre 22.7 °C et 16 °C au coucher solaire.



**Figure IV-7:** Variation de la température de l'air  $T_e$  et  $T_s$  en fonction du temps (le 04 Mars 2019).



**Figure IV-8:** Variation de la température de l'air  $T_e$  et  $T_s$  en fonction du temps (le 05 Mars 2019).



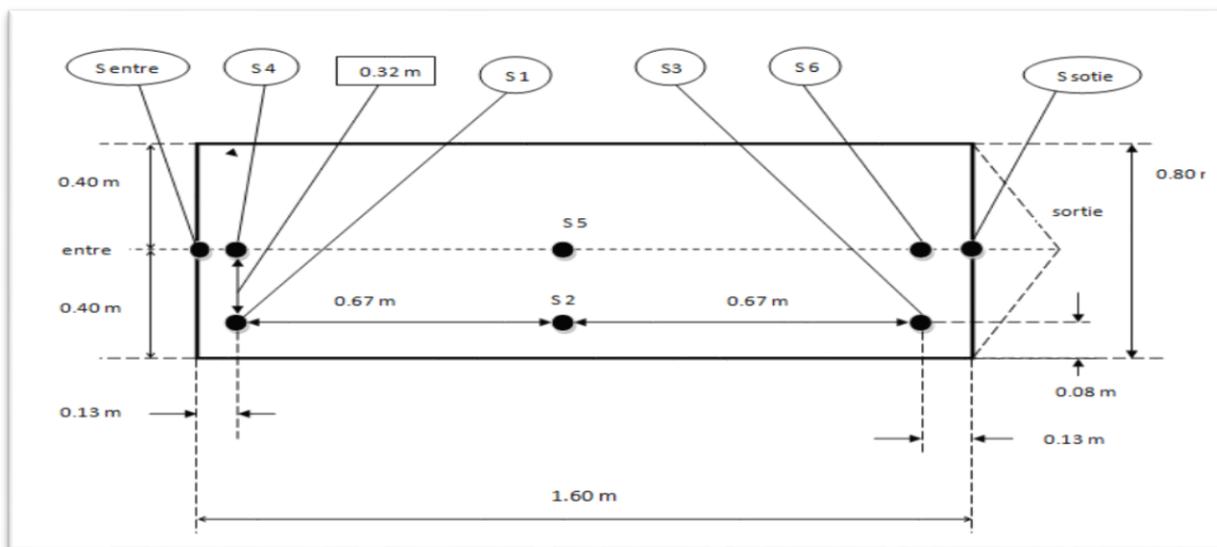
**Figure IV-9:** Variation de la température de l'air  $T_e$  et  $T_s$  en fonction du temps (le 06 Mars 2019).

#### IV.4. Distribution de la température de l'air dans le canal d'écoulement du capteur

Les contours qui suivent montrent les profils des températures de l'air le long du canal d'écoulement du capteur pour des débits d'air différents.

Les relevés des températures de l'air sont basés sur un maillage simple, quatre (04) intervalles suivant l'axe d'écoulement (sérés à l'entrée et à la sortie et desserrés au milieu du capteur ) pour lesquels les valeurs des températures sont calculées à partir de la moyenne arithmétique de deux valeurs de températures mesurées suivant la largeur de la veine d'air (sur la moitié de la largeur ; en considérant que la température de l'air est symétrique) (à  $y = 8$  cm de la paroi latérale et à  $y = 40$  cm). Les valeurs des nœuds sont fondées sur les relevés expérimentaux des températures (Voir Figure IV-10).

Les profils relevés à partir de l'entrée du capteur ont permis la détermination de l'évolution réelle des températures de l'air. Les relevés sont montrés sur les figures IV-11, IV-12 et IV-13.

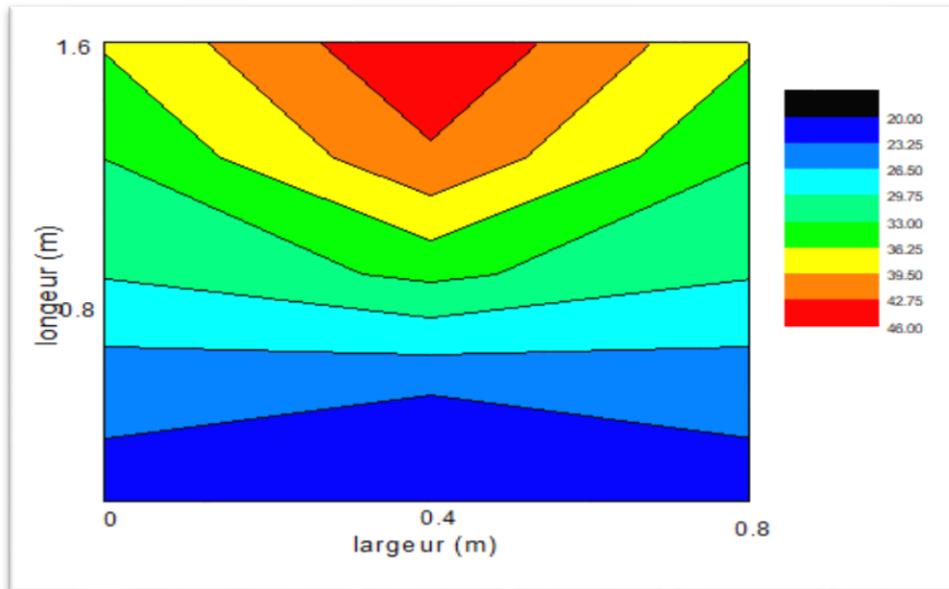


**Figure IV-10** : Position des sondes dans le conduit d'écoulement

La prise des températures de l'air dans le canal d'écoulement pour différents débits (0.02112 kg/s, 0.0264 kg/s et 0.03696 kg/s ), nous a permis de tracer les isothermes illustrées dans les figures ci-dessous pour un rayonnement solaire de  $910 \text{ w/m}^2$  (Figs. IV.11, 12 et 13).

On constate que la distribution de la température n'est pas la même, ni à l'entrée, ni au centre, ni à la sorti du capteur. La distribution de la température de l'air augmente avec la longueur du canal augmentant les valeurs maximales de température obtenues à la sortie du canal. En comparant les trois figures IV-11, IV-12 et IV-13 , il est important de noter que la température de l'air est basse à l'entrée du canal et qu'elle augmente jusqu'à la sortie, mais que dans le premier et le troisième débit (0.02112 et 0.03696 kg/s), la zone

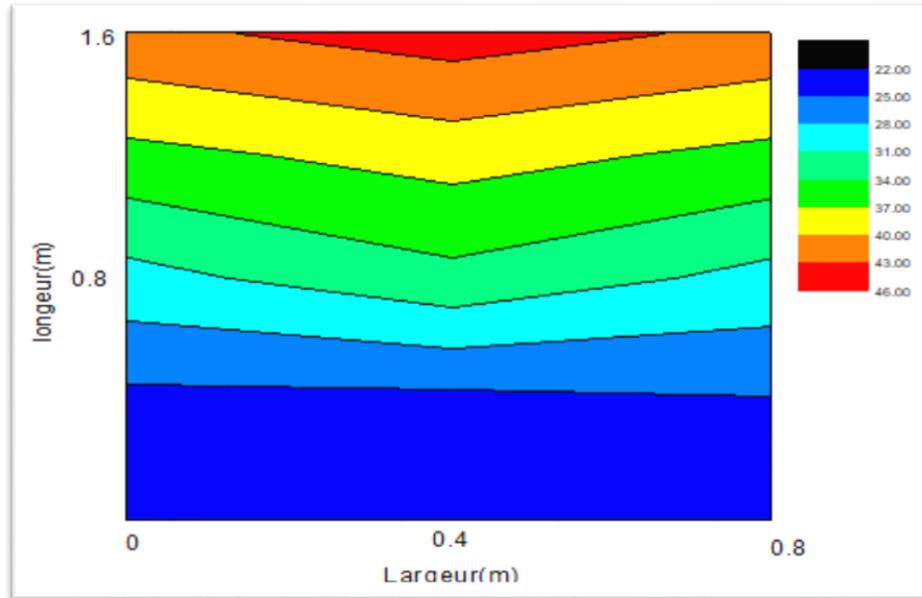
thermique de haute température est localisée dans la sortie du canal au centre, tandis que dans le deuxième débit (0.0264 kg/s), la zone a haute température est distribuée le long de la largeur à la sortie du canal.



**Figure IV-11 :** Distribution de la température de l'air dans canal d'écoulement selon le plan (x, y), pour  $\dot{m}= 0.02112$ ( kg/s).



**Figure IV-12 :** Distribution de la température de l'air dans canal d'écoulement selon le plan (x, y),  $\dot{m}= 0.0264$ ( kg/s).



**Figure IV-13 :** Distribution de la température de l'air dans canal d'écoulement selon le plan (x, y), pour  $\dot{m}= 0.03696$ ( kg/s).

## IV.5. Variation du rendement thermique

### IV.5.1. Calcul le rendement thermique:

Le rendement thermique de l'absorbeur (qui présente le rapport entre l'énergie utile et l'énergie incidente totale) peut être calculer par la relation suivante:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c \cdot I_g} \quad (\text{IV-1})$$

Avec :

$$Q_u = \dot{m} \cdot cp (T_{fs} - T_{ef}) \quad (\text{IV-2})$$

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot cp (T_{sf} - T_{ef})}{A_c \cdot I_g} \quad (\text{IV-3})$$

Avec :

$\dot{m}$  : le débit massique (kg/s) ;

$\eta$  :le rendement thermique (%) ;

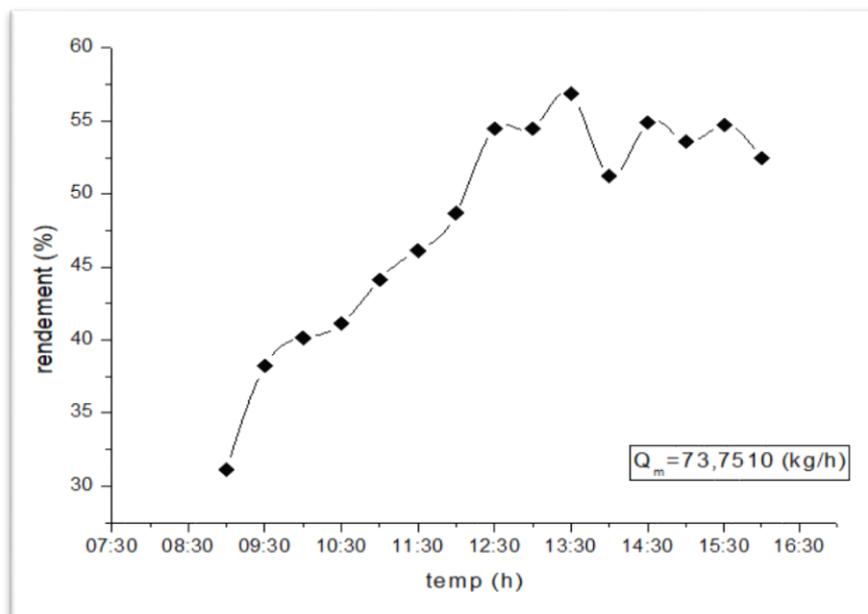
$A_c$  : la surface de l'absorbeur (m<sup>2</sup>) ;

$Q_u$ : la quantité de chaleur en fonction du débit massique.

### IV.5.2. Variation du rendement en fonction du temps

Le rendement thermique en fonction du temps calculé par l'équation IV-1, est présenté dans les figures IV-14, IV-15 et IV-16 pour les journées du 04, 05 et 06 Mars, respectivement.

L'analyse des résultats du rendement thermique révèle que, pour le premier jour ( $\dot{m} = 0.02112 \text{ kg/s}$ ), le rendement augmente en fonction du temps jusqu'à atteindre son maximum vers 13:30 avec une valeur de 58%, cette variation reste relativement oscillatoire à cause de la vitesse du vent, ces perturbations continuent jusqu'à la fin des mesures à 16 :00. Pour la deuxième journée ( $\dot{m} = 0.0264 \text{ kg/s}$ ), les valeurs du rendement sont assez importantes. La courbe prend une allure plus ou moins oscillatoire après le midi solaire vu que la vitesse du vent été légèrement élevée. Dans cette expérience, le rendement atteint jusqu'à 68% vers 15:00. Pour la troisième journée ( $\dot{m} = 0.03696 \text{ kg/s}$ ), le rendement atteint ses valeurs maximales vers 13:00 ( $\eta = 72\%$ ), ensuite il prend une allure oscillatoire comme les deux expériences précédents et pour les mêmes causes.



**Figure IV-14 :** Variation du rendement en fonction du temps (le 04 Mars 2019).

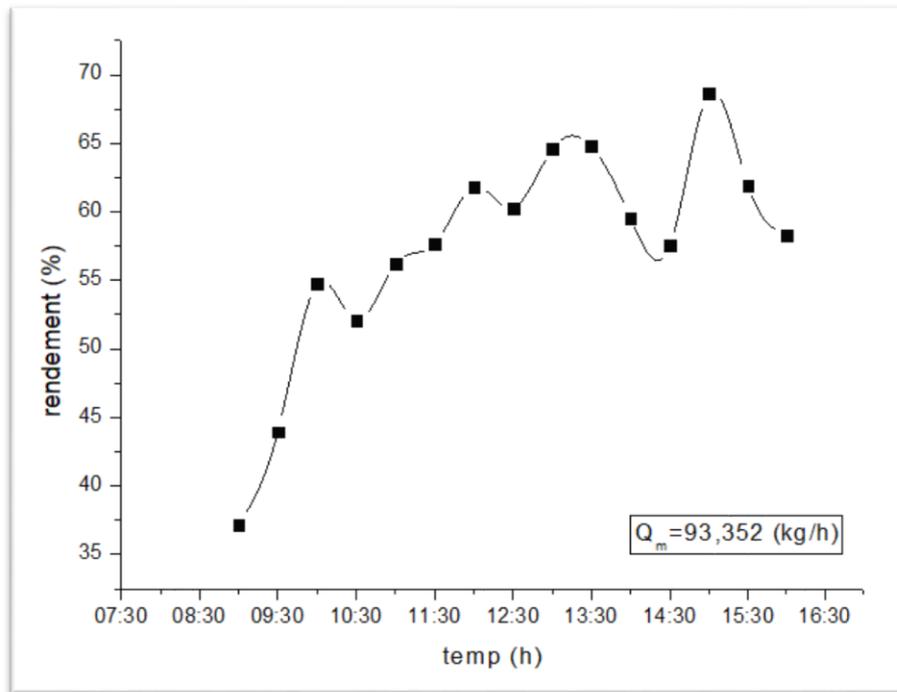


Figure IV-15 : Variation du rendement en fonction du temps (le 05Mars 2019).

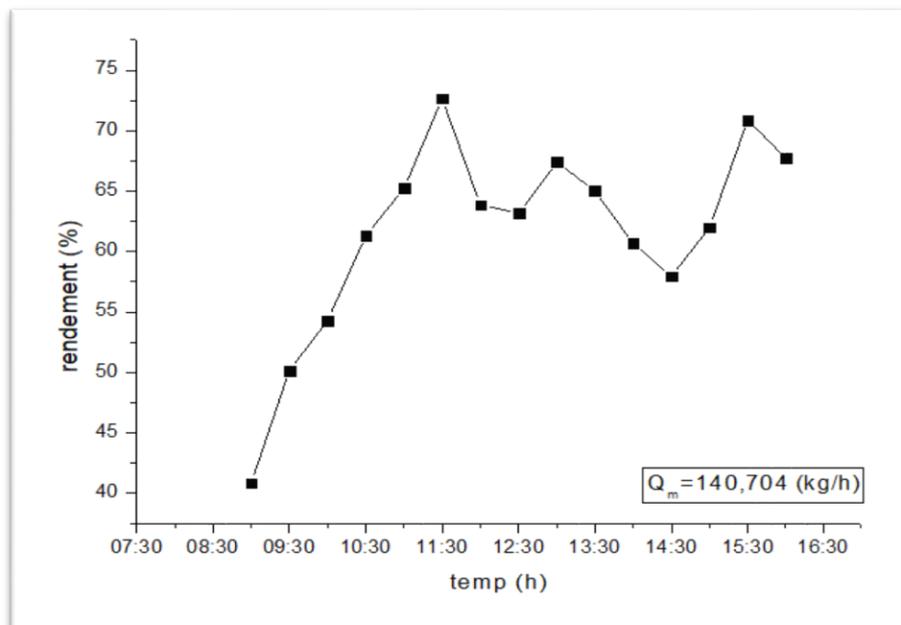


Figure IV-16 : Variation du rendement en fonction du temps (le 06Mars 2019).

Le **Tableau IV-1** présente les moyennes arithmétiques des mesures effectuées durant les trois journées d'expériences, ceci en négligeant les valeurs de la première heure de l'expérience.

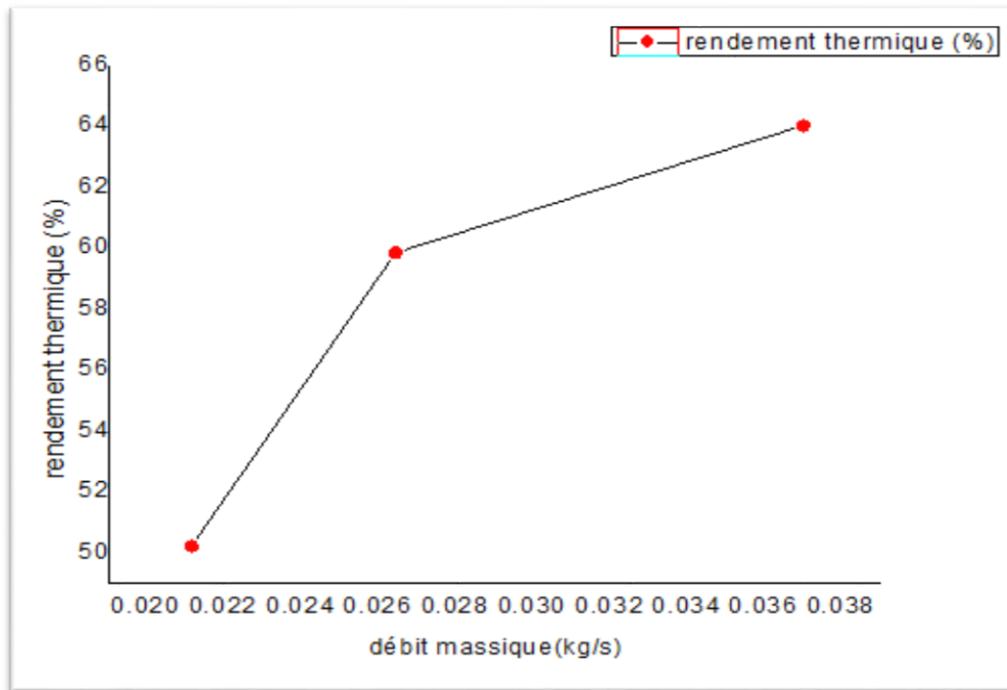
**Tableau IV-1** : Comparaison des valeurs moyennes mesurées durant les trois jours étudiés.

	04/03/2019	05/03/2019	06/03/2019
<b>Rendement</b>	51.06	.6827	64.82
<b>Ig(w/m<sup>2</sup>)</b>	892.66	861.55	878.88
<b>Tef (°C)</b>	23.35	24.17	25.01
<b>Tsf (°C)</b>	51.92	49.80	43.66
<b>Vitesse de vent (m/s)</b>	1.70	1.07	2.43

#### IV.5.3. Variation du rendement en fonction du débit d'air

Afin de mieux évaluer les performances d'insolateur étudié, il est préférable de présenter la variation du rendement thermique du capteur en fonction de débit massique. Cette variation est présentée sur la figure IV-17.

A partir cette figure, il est clair que le rendement du capteur augmente lorsque le débit augmente. Pour les valeurs les plus importantes de débit ( $\dot{m} > 70$  kg/h), le rendement devient assez sensible à s'augmenter, le rendement moyen atteint jusqu'à 66%. Ces résultats montrent de bonnes performances pour le capteur curviligne étudié notamment pour des débits massiques constants compris entre 0.021 et 0.03 kg/s.



**Figure IV-17 :** Variation du rendement en fonction du débit massique.

#### IV.5.4. Performances thermiques en fonction de différents paramètres:

Après des recherches fructueuses dans la littérature sur les méthodes de présentation des résultats et surtout le rendement thermique en fonction des paramètres réduits; nous avons constaté que les méthodes de présentation de ce genre de résultats est lié au protocole expérimental, à savoir, si la température ambiante est la que celle à l'entrée ou non et si les résultats sont symétrique par rapport au midi solaire...

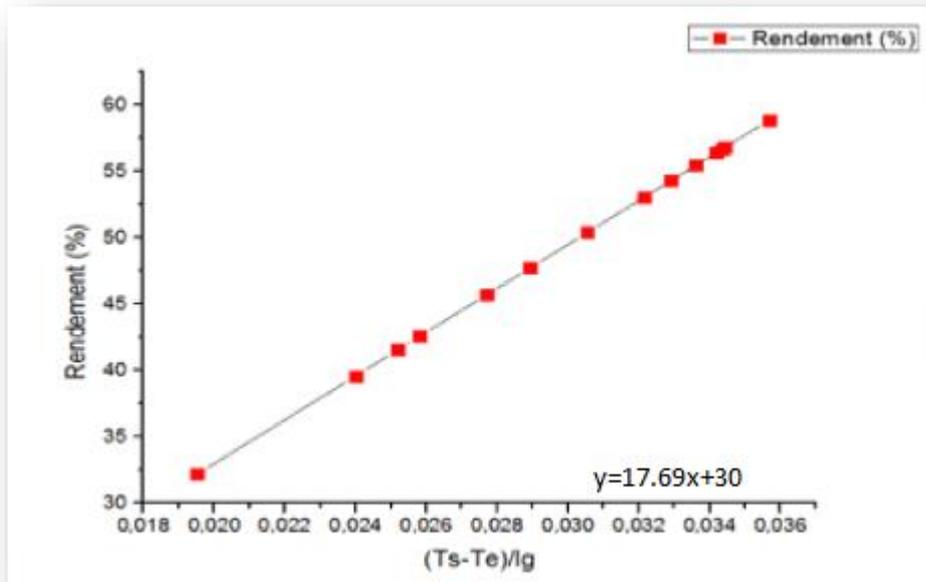
Vu que dans notre cas, la température ambiante est la même que celle de l'entrée, nous avons présenté les performances thermiques avec plusieurs méthodes afin de révéler le maximum d'informations possibles.

##### IV.5.4.1. Variation du rendement en fonction de $\Delta T/I_g$

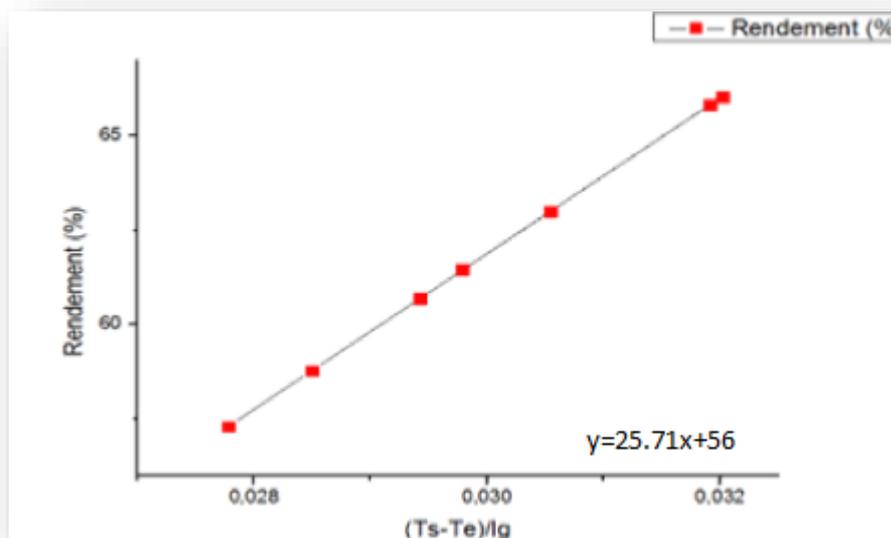
Les figures IV-18, IV-19 et IV-20 présentent la variation du rendement thermique instantané en fonction du paramètre caractéristique  $\Delta T/I_g$  pour les trois débits étudiés. Cette variation du rendement en fonction de  $\Delta T/I_g$  est intéressante, car elle permet d'analyser les performances thermiques instantanées de l'insolateur sous les conditions transitoire.

L'analyse des résultats présentés sur les figures IV-18 jusqu'à IV-20 montre que la variation du rendement en fonction du paramètre caractéristique  $\Delta T/I_g$  est linéaire dans les

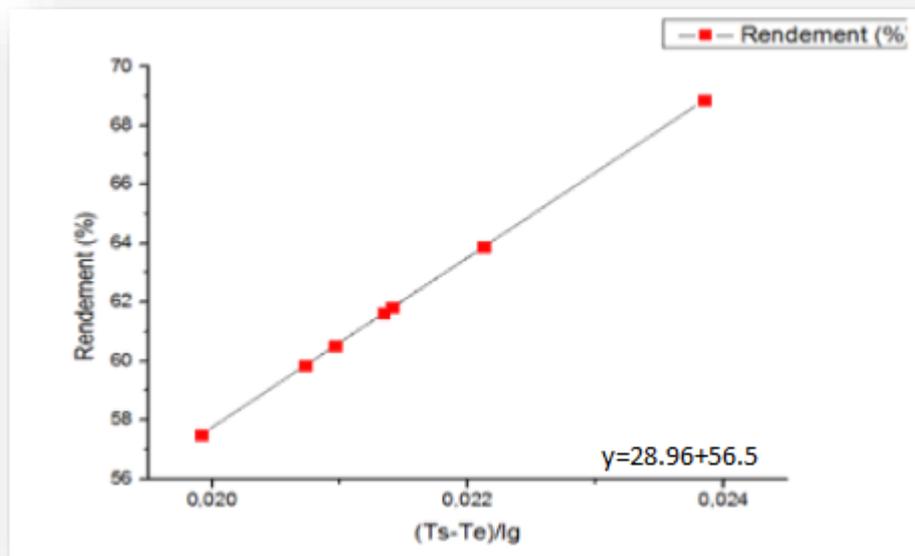
trois tests effectués, la pente de cette variation augmente légèrement avec l'augmentation du débit. Pour le premier jour ( $\dot{m} = 0.02112 \text{ kg/s}$ ), l'angle de la pente est  $33.570190^\circ$ , pour le deuxième jour ( $\dot{m} = 0.0264 \text{ kg/s}$ ), l'angle de la pente était  $34.570311^\circ$  et pour le troisième jour ( $\dot{m} = 0.03696 \text{ kg/s}$ ), cet angle devient  $35.57045^\circ$ .



**Figure IV-18 :** Variation du rendement en fonction de  $\Delta T/I_g$ , pour le cas de 04/03/2019,  $\dot{m}=0.0211 \text{ kg/s}$ .



**Figure IV-19 :** Variation du rendement en fonction de  $\Delta T/I_g$ , pour le cas de 05/03/2019,  $\dot{m}=0.0264 \text{ kg/s}$ .



**Figure IV-20** :Variation du rendement en fonction de  $\Delta T/Ig$ , pour le cas de 06/03/2019,  $\dot{m}=0.03696$  kg/s.

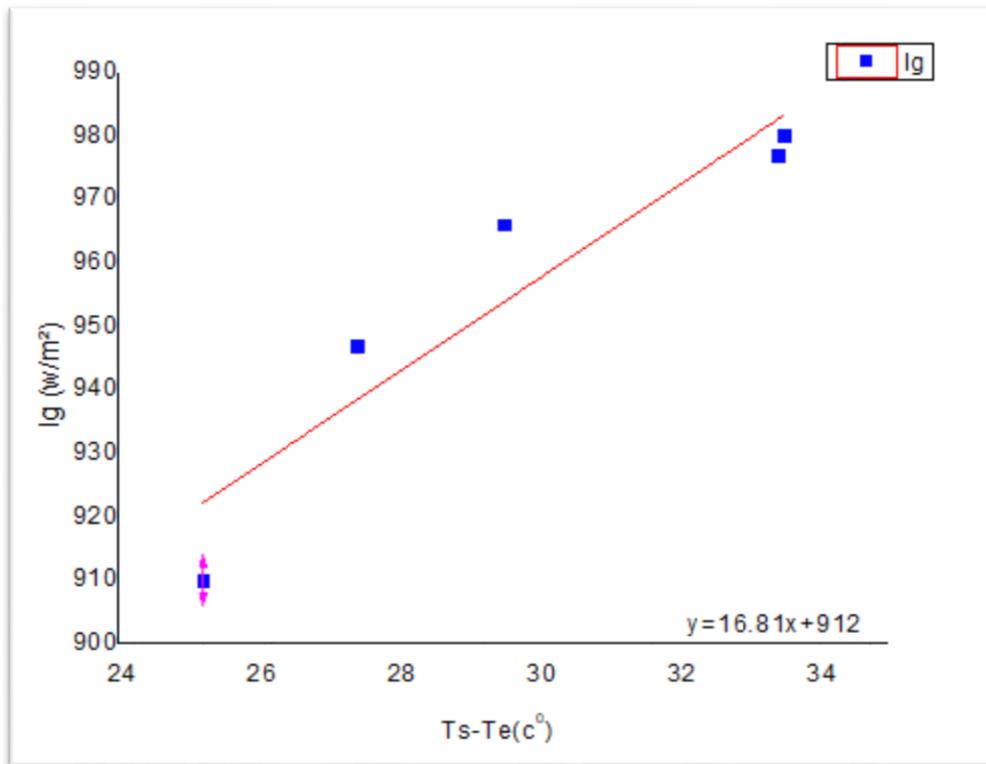
#### IV.5.4.2. Variation du rayonnement en fonction de $\Delta T$ :

Les figures IV-21, IV-22 et IV-23 présentent la variation du rayonnement solaire en fonction du  $\Delta T$  pour les trois journées d'expériences.

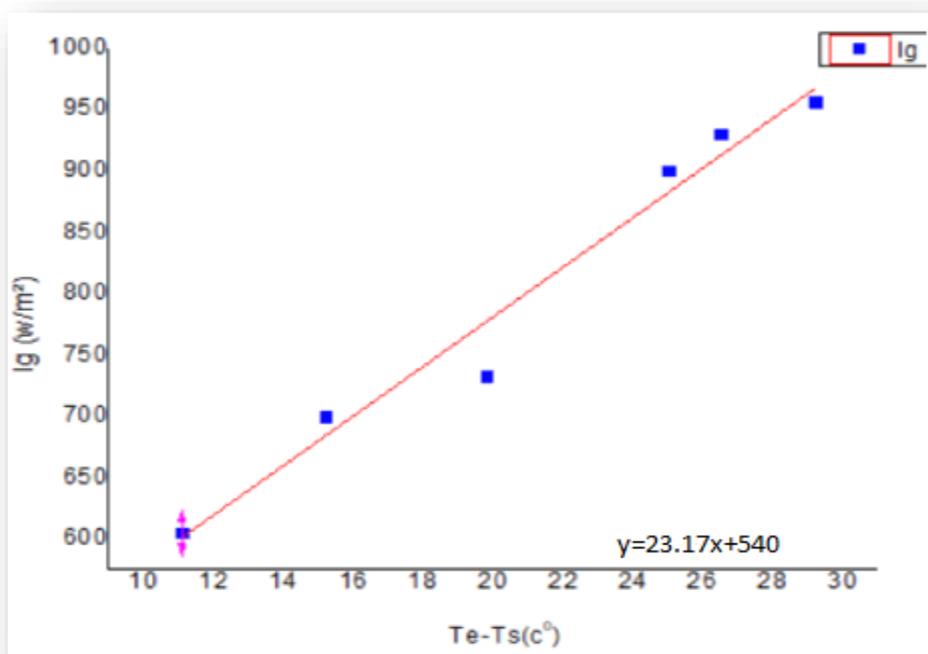
L'analyse des résultats montre que la variation du rayonnement solaire en fonction du  $\Delta T$  est linéaire dans les trois tests effectués, la pente de cette variation augmente légèrement avec l'augmentation du débit. Pour le premier jour ( $\dot{m} = 0.02112$  kg/s), l'angle de la pente est  $33.86531^\circ$ , pour le deuxième jour ( $\dot{m} = 0.0264$  kg/s), l'angle de la pente était  $35.75746^\circ$  et pour le troisième jour ( $\dot{m} = 0.03696$  kg/s), cet angle devient  $36.61925^\circ$ .

D'après **Duffie & Beckman** [20], la sensibilité du capteur augmente avec l'augmentation de cet angle, ce qui veut dire que la sensibilité du capteur augmente avec l'augmentation du débit.

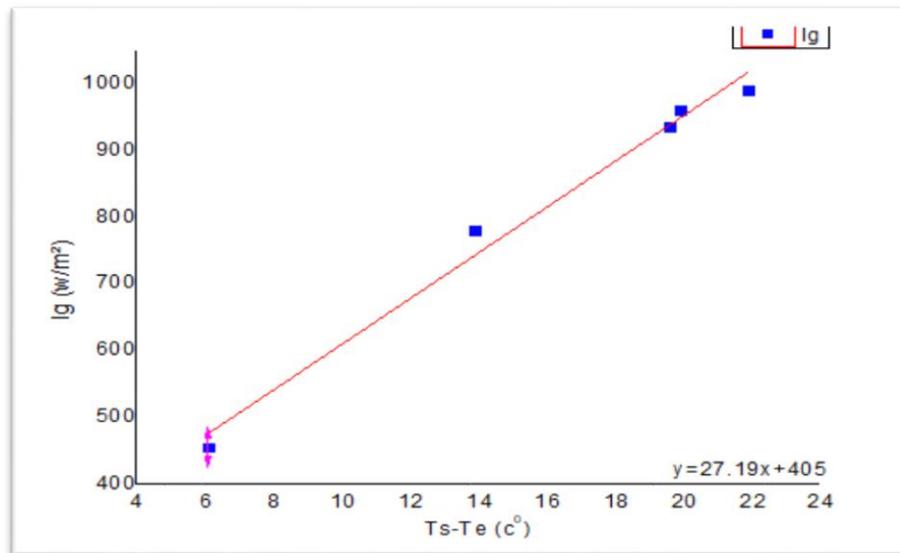
Ce qui est très logique pour notre cas, car le capteur devient plus sensible aux variations des conditions climatiques en augmentant le débit de son fonctionnement.



**Figure IV-21 :** Variation du rayonnement en fonction de  $\Delta T$ , pour le cas de 04/03/2019,  $\dot{m}=0.0211 \text{ kg/s}$ .



**Figure IV-22 :** Variation du rayonnement en fonction de  $\Delta T$ , pour le cas de 05/03/2019,  $\dot{m}=0.0264 \text{ kg/s}$ .

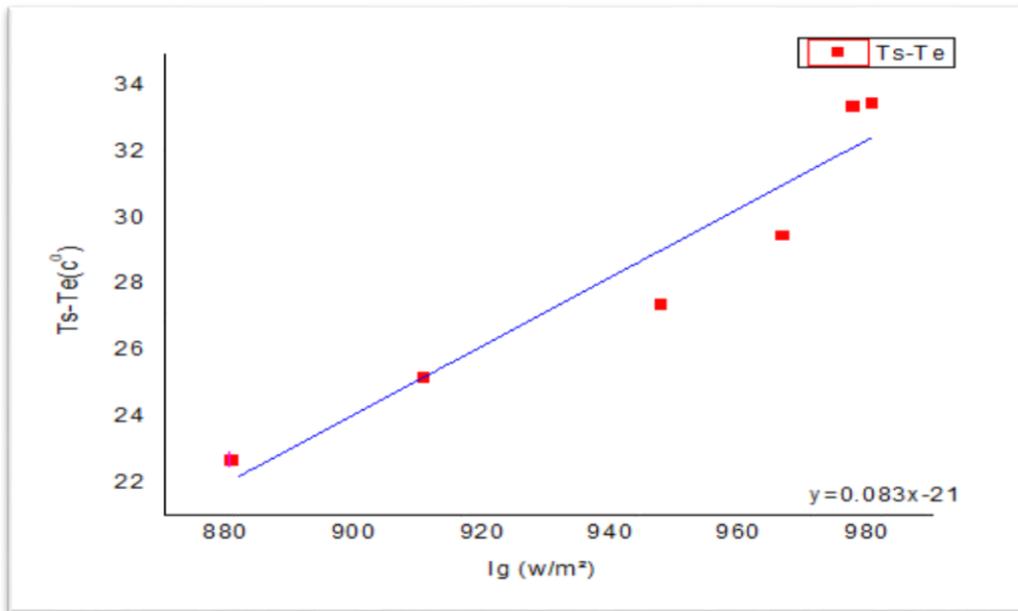


**Figure IV-23:** Variation du rayonnement en fonction de  $\Delta T$ , pour le cas de 06/03/2019,  $\dot{m}=0.03696$  kg/s.

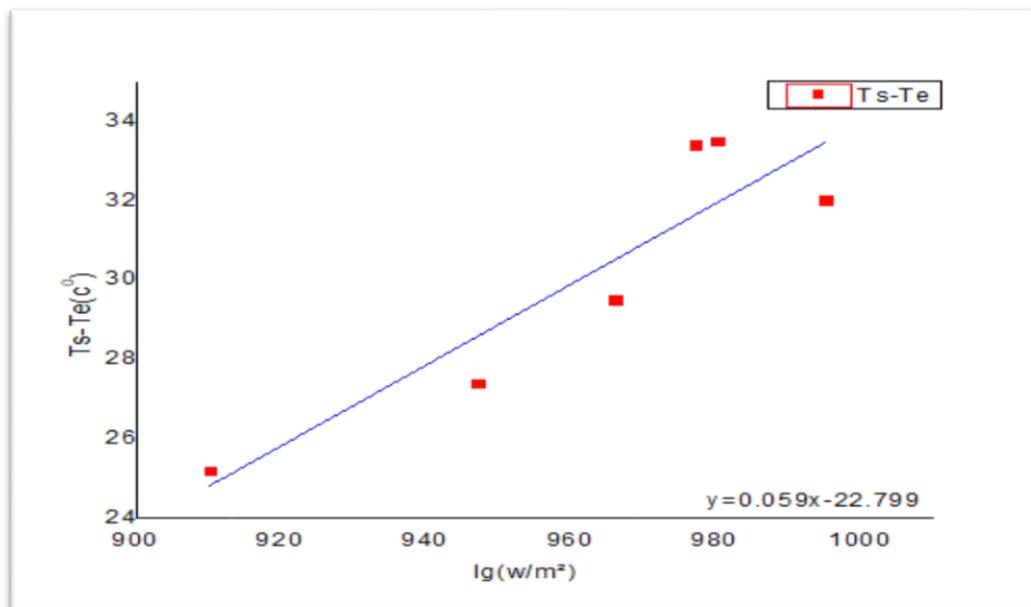
#### IV.5.4.3. Variation de la différence de température en fonction du rayonnement:

Les figures IV-24, IV-25 et IV-26 présentent la variation du  $\Delta T$  en fonction du rayonnement solaire pour les trois journées d'expériences.

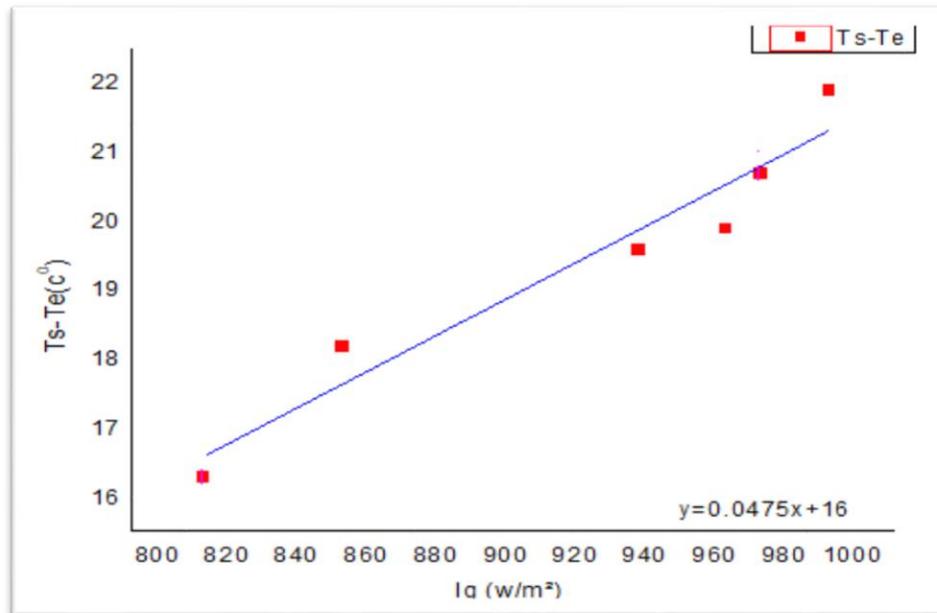
L'analyse des résultats montre que la variation du  $\Delta T$  (la différence entre  $T_s$  et  $T_e$  du capteur) en fonction du rayonnement solaire est linéaire dans les trois tests effectués, la pente de cette variation diminue légèrement avec l'augmentation du débit.



**Figure IV-24** :Variation du rayonnement en fonction de  $\Delta T$ , pour le cas de 04/03/2019,  $\dot{m}=0.0211$  kg/s.



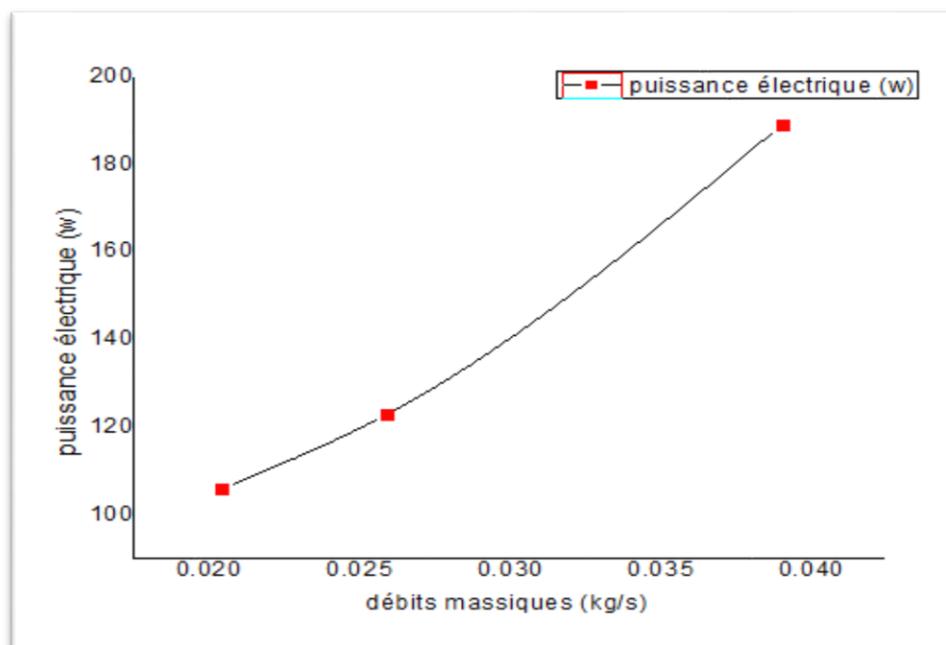
**Figure IV-25** : Variation du rayonnement en fonction de  $\Delta T$ , pour le cas de 05/03/2019,  $\dot{m}=0.0264$  kg/s.



**Figure IV-26:** Variation du rayonnement en fonction de  $\Delta T$ , pour le cas de 06/03/2019,  $\dot{m}=0.03696$  kg/s.

#### IV.6. Variation de la consommation électrique en fonction du débit d'air :

La Figure IV-24 représente la variation de la puissance électrique consommé par le capteur solaire en fonction du débit massique. D'après les valeurs mesurées, on peut noter que la consommation électrique augmente avec l'augmentation du débit.

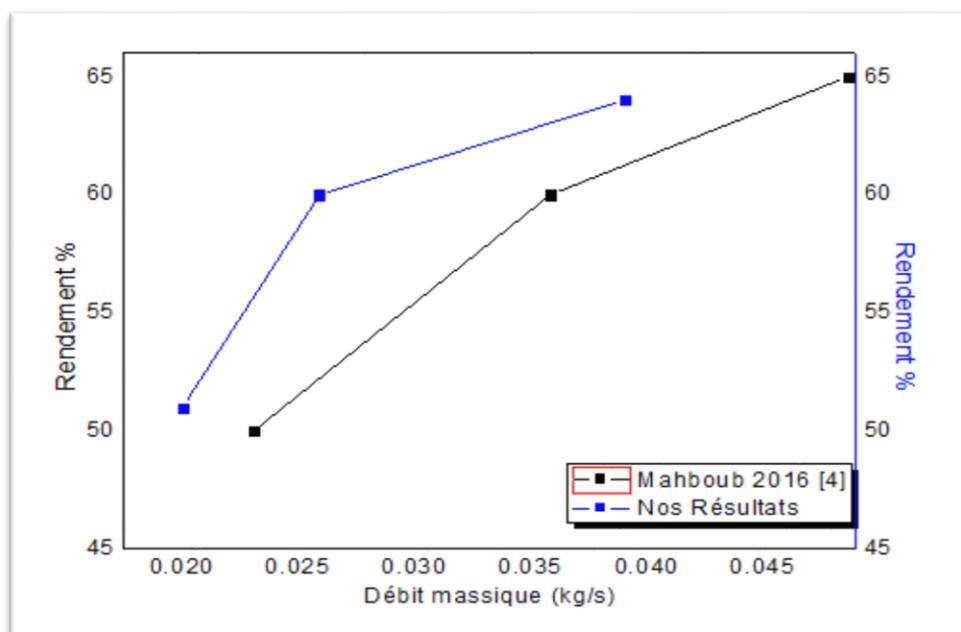


**Figure IV-27:** Variation de la puissance électrique consommée en fonction du débit massique.

#### IV.6. Comparaison des résultats avec la littérature:

Afin de donner une comparaison simple entre les performances thermiques issus des expériences que nous avons réalisé et ceux réalisés par Dr. Mahboub avec le même dispositif en 2013; nous avons tracé le rendement du capteur pour trois (03) valeurs différentes de débit d'air.

On constate d'après les courbes de la figure, que les rendements en fonction du débit de la présente étude sont en bonne concordance avec celles rapportées dans la littérature et que les valeurs du rendement de la présente étude sont meilleur par rapport à ceux de Mahboub (2016) [4]. ceci est peut être due aux périodes d'expérimentation; les essais de la présente étude ont été réalisés en mois de mars tandis que l'étude de Mahboub [4] été réalisée en moi de Juin où la température ambiante ainsi que celle à l'entrée du capteur sont trop élevées ce qui va influencer négativement sur la différence de température ( $T_s - T_e$ ) et par conséquent sur le rendement du capteur.



**Figure IV-28:** variation entre deux performances thermiques.

### III.8. Calcul de l'erreur:

Le rendement thermique du capteur est calculé par :

$$\eta = \frac{\dot{m}.c_p(T_{fs}-T_{fe})}{A_c.Ig} \quad (\text{III-1})$$

En se basant sur l'analyse de l'erreur des mesures expérimentales par les instruments utilisés ; les incertitudes sur les mesures expérimentales et les résultats sont souvent employés pour se rapporter aux valeurs possibles qui peuvent inclure des erreurs. Selon Holman [18,19] on assume que le résultat R d'une expérience est calculé à partir d'un ensemble de mesures. Il est donné en fonction des variables indépendantes X1, X2..., Xn :

$$R = R(X_1, X_2, X_3, \dots, X_N) \quad (\text{III-2})$$

Si  $\delta R$  est l'incertitude sur le résultat et  $\delta X_1, \delta X_2, \dots, \delta X_n$  sont les incertitudes sur les variables indépendantes. Si toutes les incertitudes dans les variables indépendantes sont données avec le même ordre, alors l'incertitude sur le résultat est calculée par eq.(3)

$$\delta R = \left\{ \left( \frac{\delta X}{\delta x_1} X_1 \right)^2 + \left( \frac{\delta X}{\delta x_2} X_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\delta X}{\delta x_N} X_N \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (\text{III-3})$$

Les paramètres indépendants mesurés dans les expériences, rapportées dans ce manuscrit sont : la température d'entrée de l'air dans le capteur  $T_{fe}$ , la température de sortie de l'air dans le capteur  $T_{fs}$ , la température ambiante  $T_a$ , le débit d'écoulement d'air, le rayonnement solaire.

Si  $A_c$  et  $C_p$  sont considérés constants, on peut écrire :

$$\eta = f(T_{fs}, T_{fe}, I_G, \dot{m})$$

Les équations de l'incertitude totale sur le rendement du capteur  $\eta$ ,  $(T_{fs} - T_a)/IG$  peuvent être écrits comme :

$$\delta \eta = \left\{ \left( \frac{\partial \eta}{\partial T_{fs}} \delta T_{fs} \right)^2 + \left( \frac{\partial \eta}{\partial T_{fe}} \delta T_{fe} \right)^2 + \left( \frac{\partial \eta}{\partial I_G} \delta I_G \right)^2 + \left( \frac{\partial \eta}{\partial \dot{m}} \delta \dot{m} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (\text{III-4})$$

$$\delta F = \left\{ \left( \frac{\partial F}{\partial T_{fs}} \delta T_{fs} \right)^2 + \left( \frac{\partial F}{\partial T_{fe}} \delta T_{fe} \right)^2 + \left( \frac{\partial F}{\partial I_G} \delta I_G \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (\text{III-5})$$

Les résultats des calculs montrent que l'incertitude totale sur le calcul du rendement  $\eta$ , du terme  $(T_{fe}-T_a)/IG$  sont presque de l'ordre de 1% et 1% respectivement.

### IV.8. Conclusion:

À travers les expériences effectuées, il convient de noter que le transfert de chaleur augmente avec l'augmentation du débit d'air. Ceci explique le fait que la forme curviligne du capteur favorise des perturbations d'écoulement de l'air et permettent un gain meilleur de chaleur lorsque la vitesse de l'air augmente et s'oriente vers l'absorbeur.

Il découle de résultats enregistrés que, la courbe du rendement thermique en fonction du débit d'air augment avec un rythme convexe. La même évolution s'est produite pour les valeurs de consommation électrique ; celle-ci, augmente également avec l'augmentation du débit. Quant au rendement effectif qui est en fonction du rendement thermique et de la consommation électrique du capteur ; son évolution en fonction du débit à une allure croissante mais concave.

Enfin, il s'avère a travers les résultats que, le capteur devient plus sensible à l'évolution des conditions climatiques en augmentant le débit d'air.

# **CONCLUSION GENERALE**

## *Conclusion Générale*

Ce travail est une contribution à l'étude des phénomènes de transfert de chaleur dans un capteur solaire thermique curviligne dont le but est d'améliorer ses performances.

Les résultats obtenus dans cette étude font partie des résultats numériques et expérimentaux obtenus par les chercheurs du département de génie mécanique dans le développement et l'optimisation des performances des capteurs solaires.

L'un des principaux objectifs de ce projet est d'étudier la distribution de la température de l'air dans le canal d'écoulement et l'efficacité du capteur solaire curviligne pour différents débits d'air.

Il s'avère à travers les résultats de l'étude que, l'efficacité thermique augmente progressivement avec l'augmentation du débit d'air ;

Les conditions climatiques ont un effet important sur les performances thermiques, en particulier la vitesse du vent qui a un impact négatif.

Nous avons constaté également que, l'augmentation du débit d'air favorise une meilleure distribution de la température de l'air dans le canal d'écoulement.

Nous avons présenté l'efficacité du capteur en plusieurs manières, afin de retirer le maximum d'informations et d'aboutir à une meilleure méthode de présentation des résultats lorsque les conditions environnantes ne sont pas les mêmes.

Nous avons constaté que les bonnes présentations et lectures des résultats sont liées étroitement au protocole expérimental suivi, à savoir si la température ambiante est la même que celle à l'entrée ou non et si la prise des résultats se fait dans un intervalle de temps court ou non...

Après plusieurs présentations des performances thermiques en fonction de différents paramètres, nous avons constaté que, le capteur devient plus sensible aux conditions climatiques en augmentant le débit d'air.

Enfin, nous pensons que les résultats et les conclusions issues de cette étude sont importants et prometteurs. Ils peuvent être complétés par une étude sur l'effet du rayon de courbure sur les performances du capteur solaire.

## Bibliothèque

---

- [1] Baissi, M. (2012). Etude théorique et expérimentale des paramètres de fonctionnement d'un capteur solaire plan (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [2] Mahfoud, O. (2015). Étude dynamique et thermique de l'écoulement de l'air dans un collecteur solaire dont le conduit utile est garni de rugosités artificielles (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [3] Souad, S . (2010). Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan. Université Mentouri De Constantine, 2(51), 3.
- [4] Mahboub, C. (2016). Etude des phénomènes de transfert thermique dans les échangeurs de la chaleur destinés aux applications solaires (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [5] Akermi, M. Contribution à l'étude d'un capteur solaire thermodynamique thermosiphon à eau (Doctoral dissertation).
- [6] Belzile, P, Comeau, F, Raymond, J., & Lamarche, L. (2017). Revue technologique: efficacité énergétique et énergies renouvelables au nord du Québec (No. R1716). INRS, Centre Eau Terre Environnement.
- [7] AISSAOUI, F. (2017). Contribution à l'étude de transfert de chaleur d'un capteur solaire placé dans un climat aride: cas de la région de Biskra (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [8] MANAA, S. (2017). Analyse structurelle et conceptuelle des facteurs d'optimisation des performances des insolateurs plans munis d'ailettes pour des applications diverses en fonction des contextes géographiques et climatiques (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [9] Sylvain, Q. (2007). Les centrales solaires a concentration. Faculté des sciences appliquées, Université de Liège.
- [10] Ferdjani, A,T.(2013). Développement d'un logiciel de simulation des performances thermiques des capteurs solaires plans (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [11] Labed, A. (2012). Contribution à l'étude des échanges convectifs en régime transitoire dans les Capteurs Solaires Plans à air; Application au Séchage des produits agro-alimentaires (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider Biskra).
- [12] Amraoui, M. A. Etude numérique d'un capteur solaire plan à air Influence de la forme de la rugosité (Doctoral dissertation).
- [13] [researchgate.net/figure/Schema-descriptif-du-sechoir-solaire\\_fig2\\_264858416](https://www.researchgate.net/figure/Schema-descriptif-du-sechoir-solaire_fig2_264858416)

## Bibliothèque

---

- [14] Aoues, K., et al. "Amélioration des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air: Etude expérimentale dans la région de Biskra." *Revue des Energies Renouvelables* 12.2 (2009): 237-248.
- [15] Labed, A., Moumami, N., Benchabane, A., Aoues, K., & Zellouf, M. (2015). Performances thermiques et pertes de charges de différentes configurations de capteurs solaires plans à air Etude expérimentale dans la région de Biskra, Algérie. *Revue des Energies Renouvelables*, 18(2), 209-216.
- [16] Youcef, A. "Simulation numérique du comportement dynamique et thermique d'un écoulement d'air à travers un canal muni des chicanes sous forme aile (Application aux capteurs solaires plans à air)." *Revue des Energies Renouvelables* 20.3 (2017): 521-529.
- [17] Khama, Réda, Farida Aissani, and Rezak Alkama. "Étude d'un capteur plan à air destiné à un séchoir solaire: Comparaison du mode passif au mode actif." *Le 4ème Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables. Ghardaïa – Algeria* 24 - 25 Octobre 2016.
- [18] Boumesli, Hakim, et al. "l'effet de l'angle d'inclinaison du capteur sur les performances thermiques d'un capteur solaire plan a air." *icemaep2016*, october 30-31, 2016, constantine, algeria.
- [19] Ramachan. A. (1966). *holman, jp-experimental methods for engineers*.
- [20] Duffie, J. A., Beckman, W. A., & Worek, W. M. (2013). *Solar engineering of thermal processes* (Vol. 3). New York: Wiley.

## دراسة تجريبية للخصائص الحرارية لملتقط شمسي منحني

### ملخص:

يمثل هذا العمل دراسة تجريبية لملتقط شمسي منحني. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة المردود الحراري و المردود الفعلي للملتقط الشمسي في تدفقات هوائية مختلفة وأيضاً دراسة توزيع درجات الحرارة في مجرى الهواء للملتقط الشمسي. لقد تم إجراء هذه التجربة في ظروف مناخية طبيعية بجامعة بسكرة بالجزائر. كما تبين بعد النتائج المتحصل عليها أن المردود الحراري وكذا المردود الفعلي يتزايدان مع زيادة تدفق الهواء, كما لاحظنا أن الملتقط الشمسي يصبح أكثر حساسية للظروف المناخية كلما تزايدت سرعة الهواء بداخله.

**كلمات مفتاحية:** ملتقط شمسي منحني, المردود الحراري, التوزيع الحراري

### Résumé:

Le présent travail est une étude expérimentale des performances thermique d'un capteur solaire curviligne à air, conçu, réalisé et testé à l'université de Biskra. Cette étude nous a permis de tracer les courbes du rendement thermique, la consommation électrique et le rendement effectif pour différents débits d'air. Une comparaison des distributions de la température de l'air dans le canal d'écoulement d'air pour trois débits différents a été réalisée. Il s'avère à travers les résultats de l'étude que le rendement thermique ainsi que le rendement effectif, augmentent avec l'augmentation du débit. En outre, en augmentant son débit, le capteur devient plus sensible aux conditions climatiques.

**Mot clé :** capteur solaire curviligne, performances thermique, distribution de la température.

### Abstract:

This work presents an experimental investigation of flat curvilinear collector (FCC). The main objective of this work is to study the thermal and effectiveness efficiencies of FCC and to get an idea about the air temperature distribution in the channel duct of FCC for different air flow rates. This experiment was carried out in outdoor environmental conditions in the University of Biskra, Algeria. It can be noted from the results that; the thermal and the effectiveness efficiencies increase with the increase in the air flow rate. However, the sensitivity of the FCC to the environmental parameters is higher when the air flow rate increase.

### Keywords:

Solar flat curvilinear collector, effectiveness efficiency, thermal performance.