

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Mécanique

Filière : Génie Mécanique

Option: Systèmes Energétiques et Développement Durable

Réf:.....

**Mémoire de Fin d'Etudes**

**En vue de l'obtention du diplôme de:**

**MASTER**

***Thème***

**Etude expérimentale de deux types de capteurs  
solaires plan et curviligne**

**Présenté par:**

**BENFIFI Haroun**

**Devant le jury composé de :**

**Mr. BRIMA Abdelhafid**

**Professeur**

**Président**

**Mr. MOUMMI Nouredine**

**Professeur**

**Encadreur**

**Mme. BOULTIF Nora**

**Maitre de conférences (B)**

**Examineur**

**Année universitaire : 2016 / 2017**

# Remerciements

Je remercie avant tout, Dieu le tout puissant de m'avoir permis de réaliser ce travail avec patience, persévérance et volonté.

Je remercie mon encadreur **Pr. MOUMMI Noureddine** pour son aide, ses conseils et ses remarques qui m'a permis de présenter ce travail dans sa meilleure forme.

Je remercie **Dr. AOUES Kamal** le chef du département de génie mécanique, nos professeurs et tous les enseignants du département de génie mécanique de l'université Mohamed Kheider.

Je remercie **Pr. BRIMA Abdelhafid** pour avoir bien voulu accepter de présider le jury. Sincères remerciements.

Je remercie **Mme. BOULTIF Noura** maitre de conférences d'avoir accepté d'examiner ce mémoire et d'être membre du jury. Sincères remerciements.

Je remercie aussi toute personne ayant collaboré de loin ou de près pour accomplir et améliorer ce travail.

# *Dédicace*

Je dédie ce travail à ma très chère mère

Mon très cher père

Mes frères Issam et Rassim

Mes sœurs

Mes amis chacun avec son nom

A mon encadreur

A tous mes enseignants chacun en son nom

Sans oublier les petits :

Ramzi, Ghizlan, Malak, Kounouz, Hani, Zakaria, Amina, Jad  
Alla eddin, Taha mohamed ali

## NOMENCLATURE

Symbole	Désignation	Unités
$I_g$	L'irradiation tombante sur la surface totale de l'absorbeur.	$W/m^2$
$h_{v,v}$	Coefficient d'échange convectif du vent	$W/K.m^2$
$V_v$	La vitesse de vent	m/s
$h_{r,ab-v}$	Coefficient d'échange radiatif entre l'absorbeur et la vitre	$W/K.m^2$
$h_{v,nat}$	Coefficient d'échange convectif entre l'absorbeur et la vitre	$W/Km^2$
$h_{v,ab-f}$	Coefficient d'échange convectif entre l'absorbeur et le fluide	$W/K.m^2$
$h_{r,ab-pal}$	Coefficient d'échange radiatif entre l'absorbeur et la plaque arrière	$W/K.m^2$
$h_{v,pal-f}$	Coefficient d'échange convectif entre la plaque et le fluide	$W/K.m^2$
$h_{rc}$	Coefficient d'échange radiatif entre la vitre et la voûte céleste	$W/K.m^2$
$U_{av-1}$	Coefficient des pertes thermiques à l'avant de la vitre	$W/K.m^2$
$U_{ar}$	Coefficient des pertes thermiques à l'arrière du capteur	$W/K.m^2$
$N_u$	Nombre de Nusselt	[-]
$D_H$	Diamètre hydraulique	m
$Re$	Nombre de Reynolds	[-]
$v_f$	La vitesse de l'air	m/s
$l$	Longueur de conduite	m
$e$	Largeur de conduite	m
$\dot{m}$	Débit massique	kg/s
$A_f$	La section de passage de l'air	$m^2$
$c_p$	Capacité calorifique de l'air	$J/Kg.K$
$e_{is}$	Epaisseur de l'isolant	m
$L$	Longueur de capteur solaire	m
$l$	Largeur de capteur solaire	m

$T_v$	Température de vitre	°C
$T_{ab}$	Température de l'absorbeur	°C
$T_f$	Température de fluide caloporteur	°C
$T_{pal}$	Température de la plaque arrière	°C
$T_{amb}$	Température ambiante	°C
$T_c$	Température de ciel	°C
$T_{fe}$	Température d'entrée de fluide caloporteur	°C
$T_{fs}$	Température de sortie de fluide caloporteur	°C

### Lettres Grecque

$\alpha_v$	Coefficient d'absorptivité de la vitre	[-]
$\alpha_{ab}$	Coefficient d'absorptivité de l'absorbeur	[-]
$\varepsilon_v$	Emissivité de la vitre	[-]
$\varepsilon_{ab}$	Emissivité de l'absorbeur	[-]
$\varepsilon_{pal}$	Emissivité de la plaque arrière	[-]
$\tau_v$	Transmissivité de la vitre	[-]
$\sigma$	Constante de Stefan Boltzmann	W/m <sup>2</sup> .K <sup>4</sup>
$\beta$	L'angle d'inclinaison du capteur	degré
$\mu$	Viscosité dynamique de l'air	Kg/m.s
$\rho_f$	Masse volumique de l'air	Kg/m <sup>3</sup>
$\lambda_f$	Conductivité thermique de l'air	W/m.K
$\lambda_{is}$	Conductivité thermique de l'isolant	W/m.K

### Indices

Ab	Absorbeur
v	Vitre
f	Fluide
pal	Plaque arrière

amb	Ambiance
is	Isolant
e	Entrée
s	Sortie

---

## LISTE DES FIGURES

### Chapitre I :

**Fig. I.1.** Schéma du dispositif expérimental.

**Fig. I.2.** Schéma descriptif des chicanes.

**Fig. I.3.** Capteur plan à air muni rugosités cylindriques.

**Fig. I.4.** Les différents arrangements des chicanes cylindriques.

**Fig. I.5.** Schéma du modèle expérimental.

**Fig. I.6.** Capteur solaire à quatre éléments avec jeux de miroirs pivotants de type fresnel.

**Fig. I.7.** Schéma du capteur étudié.

**Fig. I.8.** Capteur solaire plan à air exposé au soleil.

**Fig. I.9.** Insolateur à ailettes perpendiculaires.

**Fig. I.10.** Schéma du capteur étudié.

**Fig. I.11.** Plaques absorbantes.

**Fig. I.12.** Schéma de disposition des thermocouples.

**Fig. I.13.** Schéma d'un capteur solaire plan à air muni de chicanes.

**Fig. I.14.** Dispositif expérimentale.

**Fig. I.15.** Schéma de l'insolateur courbe.

### Chapitre II :

**Fig. II.1.** Représentation schématique des échanges thermiques dans un capteur.

**Fig. II.2.** Tranche fictive « $\delta x$ ».

### Chapitre III :

**Fig. III.1.** Capteurs plans sans vitrage.

**Fig. III.2.** Capteur plan de type vitré.

**Fig. III.3.** Capteur sous vide.

**Fig. III.4.** Capteur curviligne.

**Fig. III.5.** Coupe schématique d'un capteur plan.

**Fig. III.6.** Principe de fonctionnement d'un capteur plan.

## Chapitre IV :

**Fig. IV.1.** Capteur solaire plan à air.

**Fig. IV.2.** Capteur solaire curviligne.

**Fig. IV.3.** Capteurs solaires plan et curviligne.

**Fig. IV.4.** Pyranomètre manuel.

**Fig. IV.5.** Thermo-anémomètre à hélice.

**Fig. IV.6.** Anémomètre à coupelles.

## Chapitre V :

**Fig. V.1.** Variation de rayonnement solaire en fonction du temps. Jours : 27/02/2017 ciel clair+vent.

**Fig. V.2.** Variation de rayonnement solaire en fonction du temps. Jours : 12/03/2017 ciel clair+vent.

**Fig. V.3.** Variation de rayonnement solaire en fonction du temps. Jours : 19/03/2017 ciel clair.

**Fig. V.4.** Variation de rayonnement solaire en fonction du temps. Jours : 12/04/2017 ciel clair.

**Fig. V.5.** Variation de température de sortie en fonction du temps. Jours : 27/02/2017 ciel clair+vent, Débit=0,02528916 (kg/s).

**Fig. V.6.** Variation de température de sortie en fonction du débit. Jours : 27/02/2017 ciel clair+vent, Débit=0,02528916 (kg/s).

**Fig. V.7.** Variation de température de sortie en fonction du temps. Jours : 19/03/2017 ciel clair, Débit=0,0242034 (kg/s).

**Fig. V.8.** Variation de température de sortie en fonction du débit. Jours : 19/03/2017 ciel clair, Débit=0,0242034 (kg/s).

**Fig. V.9.** Variation de température de sortie en fonction du temps. Jours : 10/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017676776 (kg/s).

**Fig. V.10.** Variation de température de sortie en fonction du débit. Jours : 10/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017676776 (kg/s).

**Fig. V.11.** Variation de température de sortie en fonction du temps. Jours : 12/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017999488 (kg/s).

**Fig. V.12.** Variation de température de sortie en fonction du débit. Jours : 12/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017999488 (kg/s).

**Fig. V.13.** Variation de rendement en fonction du temps. Jours : 27/02/2017 ciel clair+vent, Débit=0,02528916 (kg/s).

**Fig. V.14.** Variation de rendement en fonction du débit. Jours : 27/02/2017 ciel clair+vent, Débit=0,02528916 (kg/s).



**Fig. V.15.** Variation de rendement en fonction du temps. Jours : 19/03/2017 ciel clair, Débit=0,0242034(kg/s).

**Fig. V.16.** Variation de rendement en fonction du débit. Jours : 19/03/2017 ciel clair, Débit=0,0242034(kg/s).

**Fig. V.17.** Variation de rendement en fonction du temps. Jours : 10/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017676776 (kg/s).

**Fig. V.18.** Variation de rendement en fonction du débit. Jours : 10/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017676776 (kg/s).

**Fig. V.19.** Variation de rendement en fonction du temps. Jours : 12/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017999488 (kg/s).

**Fig. V.20.** Variation de rendement en fonction du débit. Jours : 12/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017999488 (kg/s).

**Fig. V.21.** Variation de rendement en fonction du  $\Delta T/G$ . Jours : 27/02/2017 ciel clair+vent, Débit=0,02528916 (kg/s).

**Fig. V.22.** Variation de rendement en fonction du  $\Delta T/G$ . Jours : 27/02/2017 ciel clair+vent, Débit=0,02528916 (kg/s).

**Fig. V.23.** Variation de rendement en fonction du  $\Delta T/G$ . Jours : 12/03/2017 ciel clair+vent, Débit=0,02320812 (kg/s).

**Fig. V.24.** Variation de rendement en fonction du  $\Delta T/G$ . Jours : 12/03/2017 ciel clair+vent, Débit=0,02320812 (kg/s).

**Fig. V.25.** Variation de rendement en fonction du  $\Delta T/G$ . Jours : 10/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017676776 (kg/s).

**Fig. V.26.** Variation de rendement en fonction du  $\Delta T/G$ . Jours : 10/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017676776 (kg/s).

**Fig. V.27.** Variation de rendement en fonction du  $\Delta T/G$ . Jours : 12/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017999488 (kg/s).

**Fig. V.28.** Variation de rendement en fonction du  $\Delta T/G$ . Jours : 12/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017999488 (kg/s).

**Fig. V.29.** Variation de température de sortie théorique en fonction du temps. Jours : 16/04/2017 ciel clair, Débit=0,02153424 (kg/s).

**Fig. V.30.** Variation de température de sortie pratique en fonction du temps. Jours : 16/04/2017 ciel clair, Débit=0,02153424 (kg/s).

## LISTE DES TABLEAUX

### Chapitre V :

**Tab. V.1.** Mesures réalisées au cours du 16/02/2017 pour un capteur solaire plan.

**Tab. V.2.** Mesures réalisées au cours du 16/02/2017 pour un capteur solaire curviligne.

## SOMMAIRE

**Remerciements**

**Dédicace**

**Nomenclature**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**INTRODUCTION GENERALE**

**CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

Introduction .....	1
I.1. Revue bibliographique .....	1
Conclusion.....	11

**CHAPITRE II: MODELISATION DU CAPTEUR SOLAIRE PLAN A AIR**

Introduction .....	12
II.1. Schéma analogique global des échanges thermiques .....	12
II.2. Bilan des échanges de chaleur .....	12
II.3. Distribution de la température selon la direction de l'écoulement de l'air et calcul de la température de sortie du fluide caloporteur .....	15
Conclusion.....	17

**CHAPITRE III : LES DIFFERENTS TYPES DES CAPTEURS SOLAIRES**

Introduction .....	18
III.1. Les différents types de capteurs solaires .....	18
III.1.1. Capteur plan sans vitrage .....	18
III.1.2. Les capteurs plans vitrés .....	18
III.1.3. Les capteurs sous vide .....	19
III.1.4. Les capteurs curvilignes .....	20
III.2. Les principaux éléments constituant un capteur plan et curviligne .....	21
III.2.1. La couverture transparente .....	21
III.2.2. L'absorbeur .....	22
III.2.3. L'isolant .....	22

III.3. Principe de fonctionnement d'un capteur plan et curviligne .....	23
III.4. Les paramètres caractérisant le fonctionnement d'un capteur plan et curviligne .....	23
III.4.1. Les paramètres externes.....	23
III.4.2. Les paramètres internes .....	24
III.5. Inclinaison optimale d'un capteur .....	24
Conclusion .....	24
<b>CHAPITRE IV : DISPOSITIF EXPERIMENTAL</b>	
Introduction .....	25
IV.1. Caractéristiques du site des mesures (Biskra) .....	25
IV.2. Description du capteur solaire plan et curviligne à air .....	25
IV.3. Instruments des mesures utilisés.....	28
Conclusion.....	29
<b>CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSION</b>	
Introduction .....	30
V.1. Tableaux types des tests effectués.....	30
V.2. Variation du rayonnement solaire incident.....	31
V.3. Variation de la température de sortie en fonction du temps et débit .....	34
V.4. Calculs du rendement thermique .....	39
V.5. Variation de rendement thermique en fonction du temps et débit.....	40
V.6. Rendement thermique en fonction de $\Delta T/G$ .....	44
V.7. Simulation de la température de sortie .....	50
Conclusion .....	51
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	52
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	

## INTRODUCTION GENERALE

La transformation du rayonnement solaire en énergie thermique s'appuie sur des systèmes dits capteurs solaires. Cette énergie est utilisée directement en s'appuyant sur des systèmes dits passifs en le stockant dans des éléments de construction (véranda, serre, façade vitrée) ou indirectement par l'intermédiaire de systèmes dits actifs capteurs solaires par le biais d'un fluide caloporteur qui peut être de l'eau ou de l'air. Ils sont utilisés pour le chauffage des bâtiments et pour le séchage des produits alimentaires et agro alimentaires.

De tels systèmes sont composés d'un corps noir dit absorbeur. L'absorbeur est couvert d'un vitrage transparent au rayonnement arrivant et opaque au rayonnement infra rouge émis par le corps noir. Un fluide caloporteur circule soit sur l'absorbeur, soit sous l'absorbeur ou bien des deux côtés. Le fluide caloporteur véhicule la chaleur captée vers le système d'utilisation. Ces capteurs solaires peuvent prendre des formes et des dispositions variées selon la géométrie de conception.

Généralement de forme plane, ces capteurs peuvent être améliorés par l'adjonction des chicane dans la veine d'écoulement du fluide caloporteur. Une autre variante a été développée, caractérisée par la forme curviligne. Il s'avère que cette configuration permet des performances meilleures.

Dans cette étude on se propose de faire une étude comparative entre les performances des deux systèmes.

Le présent travail est constitué d'une synthèse bibliographique dans laquelle on montre la technologie de la conversion thermique de l'énergie solaire et les travaux faits. Une analyse de quelques travaux théoriques et expérimentaux qui se sont intéressés à l'amélioration des performances des capteurs solaires plans. Une étude théorique dans laquelle on montre le principe des échanges thermiques dans les CSP, les paramètres affectant leur fonctionnement et le bilan thermique et calculs des coefficients d'échange. Une étude expérimentale, données du protocole expérimentale, banc d'essai et appareillage des mesures. Enfin les résultats des tests et mesures: rayonnement solaire, températures, vitesses ainsi que la comparaison et l'interprétation et finalement une conclusion générale.

# CHAPITRE I

## Introduction :

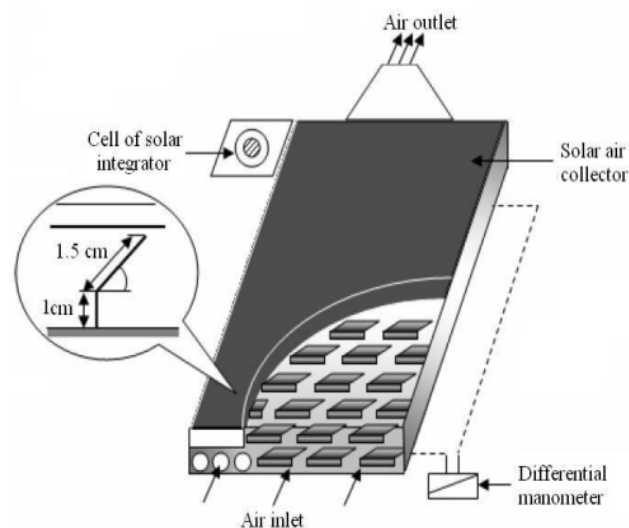
Les performances d'un capteur se traduisent essentiellement par le rendement de ce dernier. En pratique, ce rendement est fonction de l'énergie utile qu'on cherche constamment à augmenter :

- Par augmentation de la quantité d'énergie solaire reçue par l'absorbeur,
- Par diminution des pertes de chaleur vers l'arrière du capteur (zones non réceptrices) et vers l'avant du capteur (entre l'absorbeur et l'ambiance).

Dans cette partie, nous allons citer quelques travaux plus courant et porté un lien avec notre sujet.

### I.1 Revue bibliographique :

Dans le but d'améliorer les performances des capteurs solaires à air, **K.Aoues et al [1]** on introduit dans la veine d'air mobile des obstacles métalliques minces assimilés à chicanes. Le rôle de ces chicanes est résumé dans un double aspect favorisant le transfert thermique au fluide caloporteur. Elles permettent de rendre l'écoulement turbulent à proximité de la plaque chaude, et prolongent le parcours du fluide caloporteur.



**Fig. I.1.** Schéma du dispositif expérimental [1]

La veine d'air dynamique d'une hauteur de 25 mm est comprise entre la plaque absorbante et une plaque inférieure en acier galvanisé placée sur l'isolant, il est équipé de rangées d'obstacles métalliques minces soudées perpendiculairement à l'écoulement sur la plaque inférieure, placée au-dessus de l'isolant. Ces obstacles ont deux formes différentes (model-1

et model-2) où la différence entre les deux réside dans la partie inclinée d'angle  $\alpha$ , respectivement égale à  $60^\circ$  et  $120^\circ$ . Ces chicane sont espacées d'une distance respectivement à  $d=10\text{cm}$  et  $d=5\text{cm}$  suivant deux configuration A et B qui se différencient par le nombre de rangées respectivement égale à 152 et 256 chicanes. Figure2.

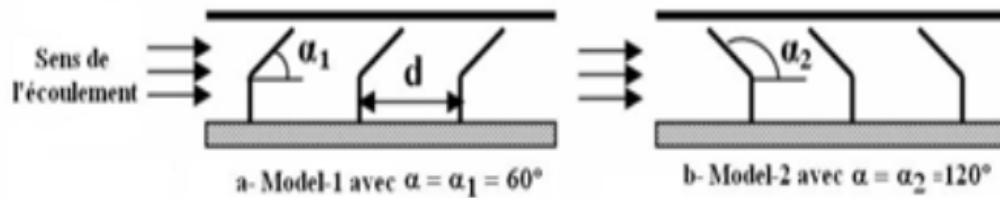


Fig. I.2. Schéma descriptif des chicanes [1]

Après une série de tests expérimentaux, K.Aoues et al conclu que la géométrie de passage dans la section droite perpendiculaire à l'écoulement joue un rôle important. Et ont trouvé que les chicanes du modèle 1 placées dans les configurations A1, B1 donnent les meilleurs résultats par rapport à ceux des configurations A2, B2 qui sont des chicanes modèles 2.

Dans le même cadre d'études, K.Aoues et al [2], ils ont étudié les performances thermiques du capteur solaire plan à air présenté dans la figure 1. Ont mené un travail théorique dans le but d'améliorer le coefficient de transfert convectif entre l'air et l'absorbeur. En plaçant des chicanes cylindriques perpendiculairement à l'écoulement dans la veine d'air mobile entre l'absorbeur et l'isolant.

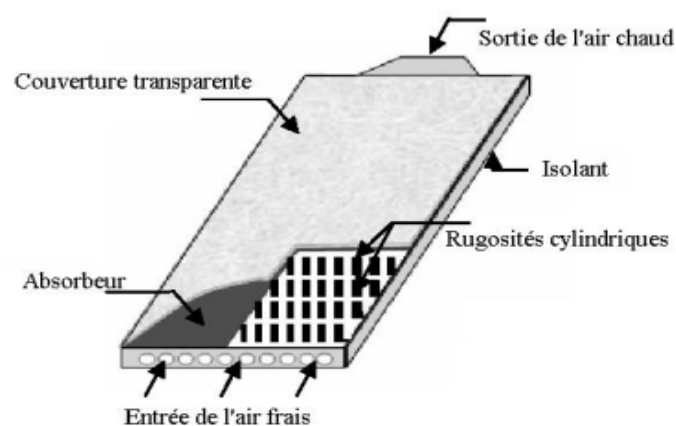


Fig. I.3. Capteur plan à air muni rugosités cylindriques [2]



Ils ont étudié trois configurations (sans chicane, avec chicanes alignées et avec chicanes disposées en quinconces). Et ont trouvé que le meilleur rendement est obtenu avec des chicanes cylindriques arrangées en quinconce, et le plus bas pour le capteur lisse.

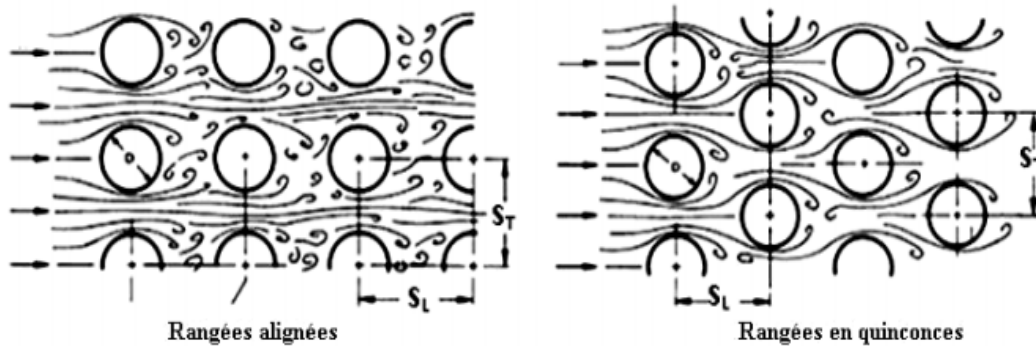


Fig. I.4. Les différents arrangements des chicanes cylindriques [2]

A.Labed et al [3] ont présentés une étude théorique et expérimentale d'un capteur solaire plan à air afin d'améliorer sa performances. Le système étudié est un capteur solaire plan à air à simple passe composé d'une vitre, Une plaque absorbante mince en acier galvanisé peinte en noir mat, Une plaque arrière mince en acier galvanisé placée sur l'isolant et d'une isolation arrière qui est assurée grâce à une feuille de polystyrène, La veine d'air dynamique d'une hauteur de 25 mm est comprise entre la plaque absorbante (corps noir) et la plaque inférieure. Les rugosités artificielles sont des petits canaux, dont la base est de forme trapézoïdale d'une hauteur de 25 mm.

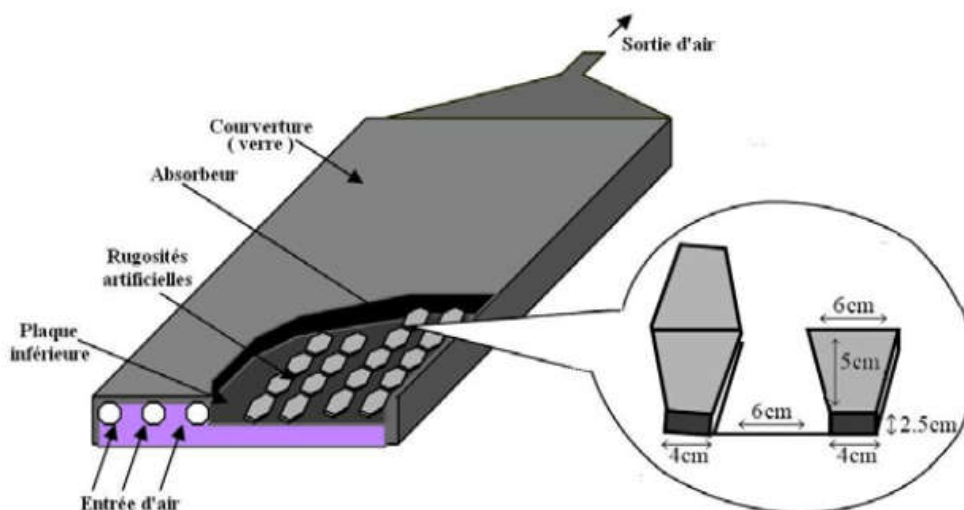


Fig. I.5. Schéma du modèle expérimental [3]

Les auteurs concluent que le rôle très favorable à l'augmentation de l'échange thermique de ce type de chicane placées dans la veine d'air utile. Cependant elles engendrent des pertes comparativement à un canal lisse. Les résultats théoriques sont validés par les résultats expérimentaux.

**H.Karoua[4]**, présente une étude des performances thermiques d'un capteur solaire avec effet de concentration de type fresnel. Il est intéressé à l'étude des paramètres des performances thermiques et au transfert de chaleur lors de l'écoulement d'un débit d'air dans un conduit utile rectangulaire, dont la surface d'échange mise en jeu est munie de rugosités artificielles tordues. Le conduit d'écoulement est situé dans la zone focale d'un capteur solaire avec effet de concentration de type fresnel. Constitué d'un jeu de miroirs ardents parfaitement réfléchissants.



**Fig. I.6.** Capteur solaire à quatre éléments avec jeux de miroirs pivotants de type fresnel [4]

**T. Letz, M. Lallemand [5]**. Ont mené un travail théorique et expérimental pour l'analyse du comportement d'un capteur solaire plan à air qui est composé de modules dont une coupe est représentée sur la figure 1. Chaque module est monté sur un panneau de particules constituant la cloison inférieure de la lame d'air dynamique. L'absorbeur, en alliage d'aluminium, le capteur comporte un seul vitrage. Un circuit aérodynamique permet d'alimenter le capteur.

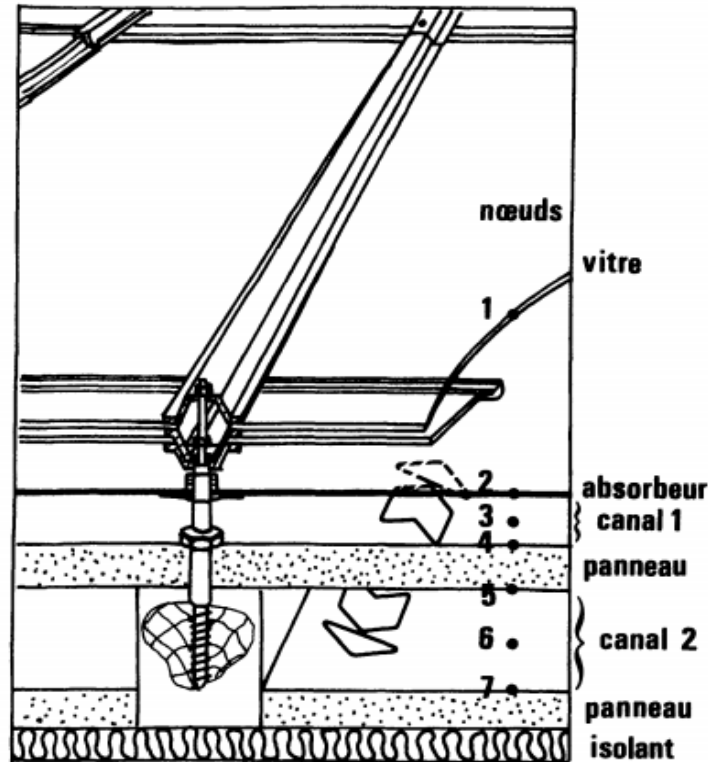


Fig. I.7. Schéma du capteur étudié. [5]

Après une série des tests expérimentaux ils concluent que le comportement de capteurs solaires à air en ensoleillement naturel et en ensoleillement artificiel de façon à mieux maîtriser les paramètres dont dépend le rendement. Il est à noter que ce type de capteurs, montés en toiture, a une inertie relativement importante qui entraîne une faible valeur du rendement du capteur en début de journée, et une valeur plus élevée en fin de journée.

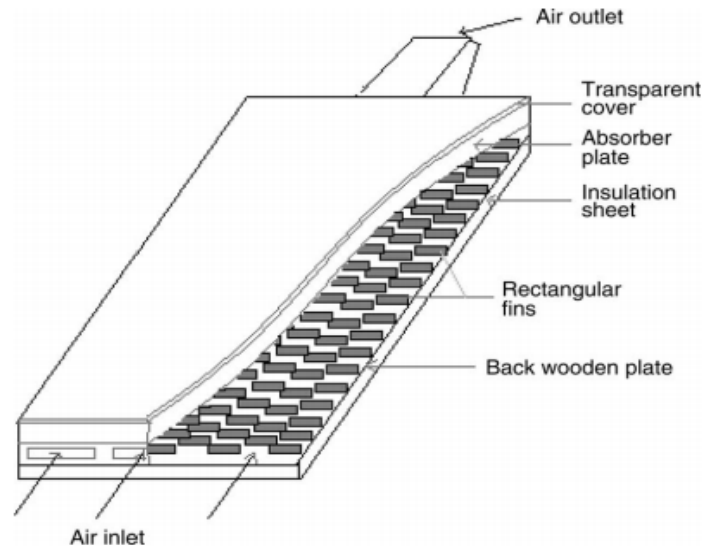
**H.Menacer [6]** ont réalisés une étude expérimentale pour contribuer à l'optimisation des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air à une seule veine d'écoulement d'air située entre l'absorbeur et le plan d'écoulement inférieur. L'absorbeur plat en acier galvanisé peint en noir mat, l'isolation est en polystyrène, ils s'intéressent à savoir l'évolution de la température de l'air à l'entrée et à la sortie du l'insolateur, le rendement thermique journalier pour un débit fixe et varie le coefficient d'échange par convection.



**Fig. I.8.** Capteur solaire plan à air exposé au soleil [6]

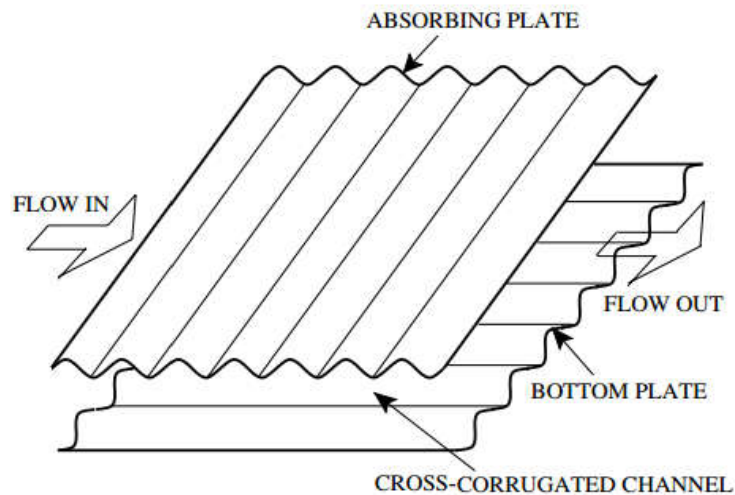
Ils ont conclu que la vitesse de l'écoulement agit bien sur le transfert de chaleur, son augmentation conduit à la diminution de la température de sortie du capteur solaire, tandis qu'elle renforce son rendement thermique à cause de la diminution des pertes par les différents cotés de l'insolateur. La longueur du canal d'écoulement son augmentation entraîne une diminution du coefficient d'échange par convection  $h(x)$  mais augmente le rendement du capteur.

**Moummi et al [7]** ont employé des ailettes de forme rectangulaire fixées dans la plaque inférieure du conduit d'écoulement perpendiculairement au flux d'air pour créer de la turbulence (figure 5.3). les résultats expérimentaux montrent qu'avec l'utilisation de telles rugosités artificielles, l'accroissement du rendement thermique peut atteindre jusqu'à 75% par rapport à celui d'un insolateur lisse. Ils ont également affirmé que la configuration rugueuse nous permet d'abandonner le choix d'un absorbeur sélectif étant donné que celui-ci n'a aucune influence significative sur la performance de cette configuration.



**Fig. I.9.** Insolateur à ailettes perpendiculaires [7]

L'amélioration des performances d'un capteur solaire avec une plaque absorbante ondulé-croisé qui renforce la turbulence et le transfert de chaleur à l'intérieur du canal et le taux d'écoulement du fluide a été analysée par **Gao et al. [8]**. Leurs résultats ont prouvés que les capteurs solaires avec des plaques absorbantes ondulés-croisés ont un meilleur rendement thermique par rapport aux capteurs plats.



**Fig. I.10.** Schéma du capteur étudié [8]

**Abdi et Messaoudène [9]** ont menés une étude expérimentale et théorique des performances de deux types de capteurs plans avec des formes différentes de la plaque d'absorption. Ils ont principalement étudiés l'effet de la forme géométrique du passage du fluide (forme convexe et forme concave) sur l'efficacité des capteurs dans le cas d'un contact direct eau-plaque absorbante. Par comparaison des résultats théoriques et expérimentaux ils

ont montrés que le capteur muni d'une plaque absorbante de forme convexe donne un meilleur rendement qu'une plaque absorbante de forme concave.

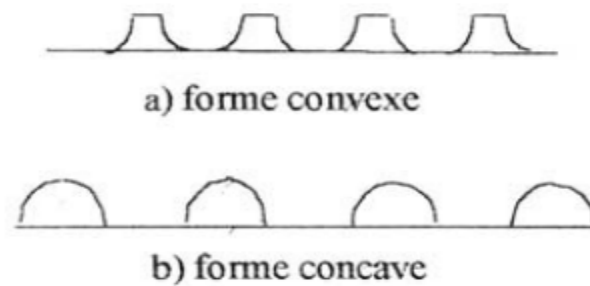


Fig. I.11. Plaques absorbantes [9]

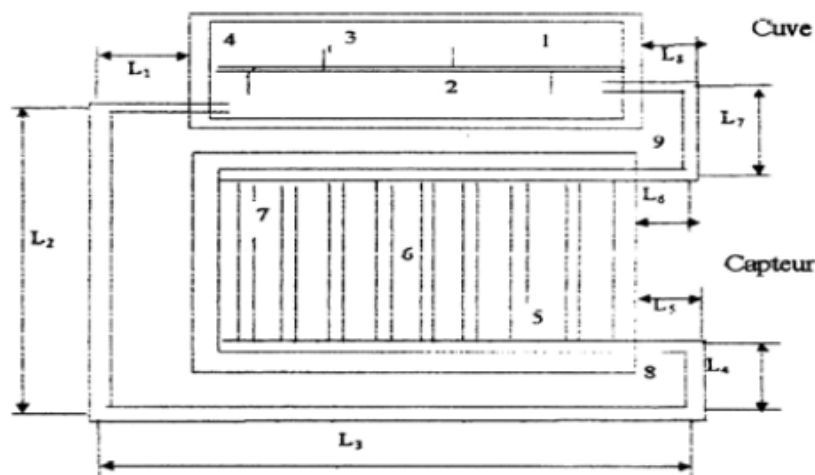
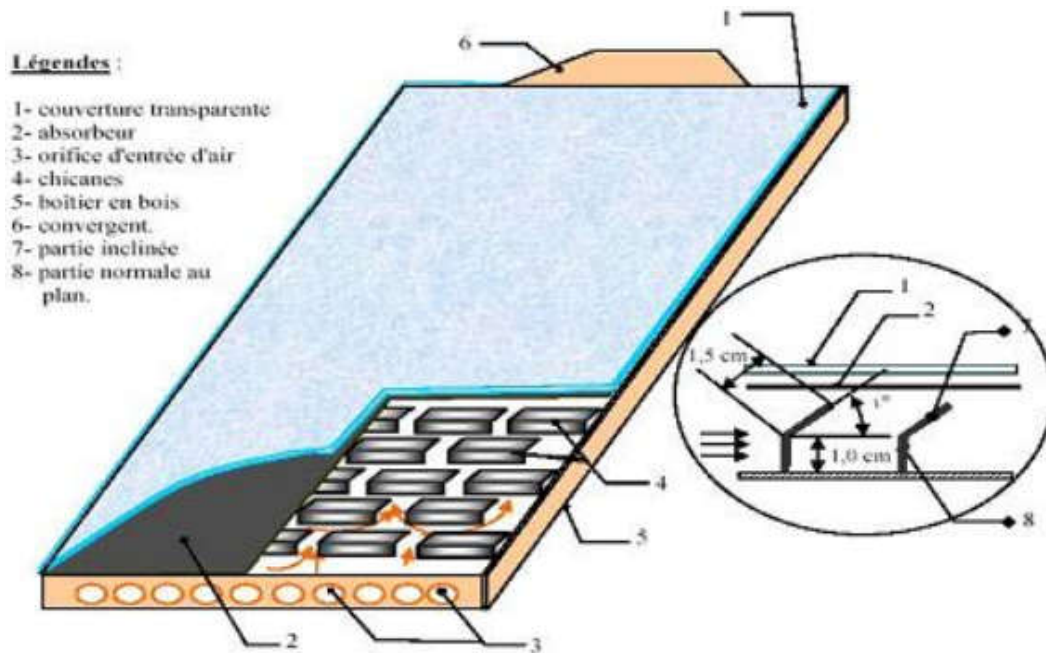


Fig. I.12. Schéma de disposition des thermocouples [9]

Les performances d'un capteur solaire sont également influencées par les conditions géographiques, l'orientation, l'angle d'inclinaison et la nature du matériau de fabrication du capteur. De l'effet de l'accumulation de la poussière sur la couverture en verre de capteur solaire a été étudié expérimentalement avec des angles d'inclinaison différents par **Hegazy** [10]. Les résultats ont indiqués que la réduction partielle de la transmittance en verre dépend des dépôts de poussières en conjonction avec l'angle d'inclinaison de la plaque, la période d'exposition et les conditions climatiques du site. Ainsi, pour des angles d'inclinaison de  $0^\circ$  à  $90^\circ$  ils ont montrés que l'angle d'inclinaison  $0^\circ$  est le plus contaminé avec un mélange de particules de poussière grossières et fines et l'angle d'inclinaison  $90^\circ$  présente moins de quantité d'accumulation de poussière.

**Menasria Fouad [11]**, propose un modèle empirique de calcul du coefficient d'échange thermique par convection, lors de l'écoulement de l'air dans un conduit rectangulaire, dont le plan inférieur est muni de chicanes de formes rectangulaires disposées en quinconce Figure. (I-4). Par la méthode de l'analyse dimensionnelle, il a pu mettre en relation tous les paramètres physiques, thermo-physiques et les caractéristiques géométriques des chicanes, et en fonction du régime d'écoulement on estime un coefficient d'échange par convection dans l'espace d'écoulement du fluide.



**Fig. I.13.** Schéma d'un capteur solaire plan à air muni de chicanes [11]

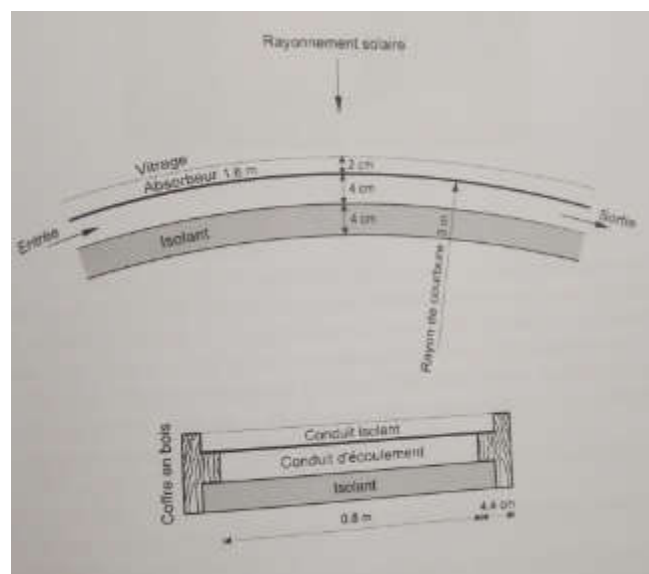
Les testes établis par comparaison avec le travail expérimental de **Baissi Mohamed [12]** ont permis de conclure que le logiciel développé est en bon accord avec la configuration du capteur solaire plan sans chicane qui a été utilisé par cet auteur au sein du laboratoire de génie mécanique de l'université de Biskra. Les rôles du logiciel peuvent être résumés comme suit :

- Permis aux spécialistes du domaine, de faire des simulations par ordinateur dans le but d'estimer les caractéristiques de l'installation réelle. Ce qui permet de réduire le coût et augmenter la fiabilité du système.
- Faire l'étude du fonctionnement du capteur à air pour diverse matériaux et sur plusieurs sites.
- Comparée plusieurs configurations de l'installation pour le même site.
- Faire un choix des éléments qui s'adapte le mieux pour le site choisi.

Pour le capteur solaire curviligne **C.Mahboub [13]** a présenté un dispositif expérimental dans le but d'évaluer les performances de la conception proposée. Ce prototype est absolument identique à un isolateur conventionnel lisse constitué précisément de plaque de plexiglas transparent, tôle d'acier galvanisé de surface peinte en noir mat. Il a conclu que le potentiel de la conception proposée non seulement en terme de performance thermo-hydraulique, mais aussi en terme de rentabilité du fait que l'insolateur courbé possède exactement la même configuration de base des insolateurs plans et le cout de fabrication et le poids de l'insolateur courbé seront les mêmes que ceux d'un insolateur plan standard.



**Fig. I.14.** Dispositif expérimentale [13]



**Fig. I.15.** Schéma de l'insolateur courbe [13]



**Conclusion :**

Les performances d'un capteur solaire dépendent en grande partie de la qualité d'absorption et de transmission de chaleur de la plaque absorbante ainsi, plusieurs recherches ont été lancées pour proposer de nouvelles dispositions des plaques absorbantes afin d'augmenter les performances des capteurs solaires. Les performances d'un capteur solaire sont influencées par plusieurs paramètres. On trouve notamment :

- Les paramètres externes comme le rayonnement solaire, la température ambiante...etc.
- Les paramètres internes (paramètres de construction) comme l'absorbeur, la couverture, le fluide de travail et la qualité d'isolation.
- Les paramètres de position comme l'angle d'inclinaison du capteur.

# CHAPITRE II

## Introduction :

Les échanges thermiques dans un capteur solaire plan à air à une passe, constitué d'une seule vitre de protection située au dessus de l'absorbeur peuvent être schématisés selon la figure (II.1) : [20]

### II.1 Schéma analogique global des échanges thermiques :

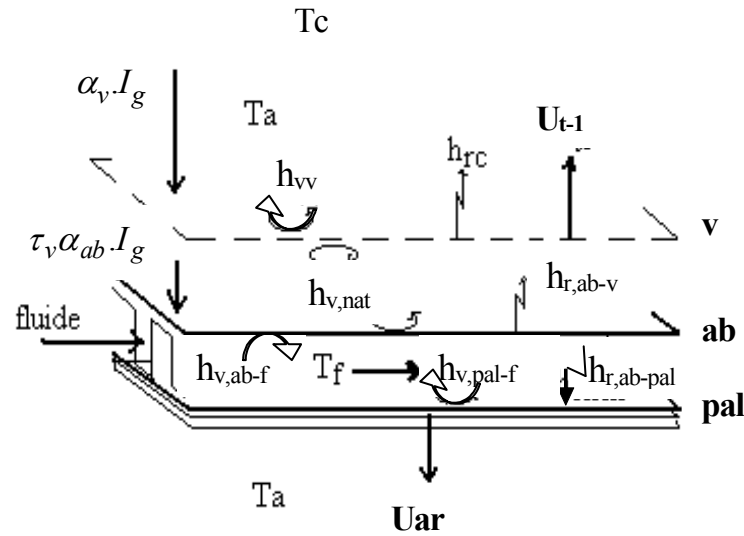


Fig. II.1. Représentation schématique des échanges thermiques dans un capteur. [20]

### II.2 Bilan des échanges de chaleur :

L'application de la loi d'Ohm conduit aux équations de bilans suivantes :

- Pour la couverture transparente (vitre d'indice v):

$$\alpha_v I_g + \left( \frac{h_{v,nat}}{2} + h_{r,ab-v} \right) (T_{ab} - T_v) = U_{av-1} (T_v - T_{amb})$$

- Pour l'absorbeur (indice ab) :

$$(\tau_v \alpha_{ab}) I_g = \left( \frac{h_{v,nat}}{2} + h_{r,ab-v} \right) (T_{ab} - T_v) - h_{v,ab-f} (T_{ab} - T_f) - h_{r,ab-pal} (T_{ab} - T_{pal})$$

- Pour le fluide caloporteur (air d'indice f):

$$h_{v,ab-f} (T_{ab} - T_f) = Q_u + h_{v,pal-f} (T_f - T_{pal})$$

- Pour l'isolant (d'indice pal):

$$h_{v,pal-f} (T_f - T_{pal}) + h_{r,ab-pal} (T_{ab} - T_{pal}) = U_{ar} (T_{pal} - T_{amb})$$

$\alpha_v$ : Coefficient d'absorptivité de la vitre.

$I_g$  : L'irradiation tombante sur la surface totale de l'absorbeur.

$h_{v,nat}$ : Coefficient d'échange convectif entre l'absorbeur et la vitre.

$$h_{v,nat} = 1.42 \left( \frac{(T_{ab} - T_{amb}) \sin \beta}{L} \right)^{1/4}$$

$T_{ab}$ : Température de l'absorbeur.

$T_{amb}$ : Température ambiante.

$\beta$ : L'angle d'inclinaison.

$L$ : Longueur de l'absorbeur.

$h_{r,ab-v}$ : Coefficient d'échange radiatif entre la vitre et l'absorbeur.

$$h_{r,ab-v} = \sigma (T_v^2 + T_{ab}^2) (T_v + T_{ab}) / \left( \frac{1}{\epsilon_v} + 1/\epsilon_{ab} - 1 \right)$$

$\sigma$ : Constant de Stefan Boltzmann.

$T_v$ : Température de la vitre.

$\epsilon_v$ : Emissivité de la vitre.

$\epsilon_{ab}$ : Emissivité de l'absorbeur.

$U_{av-1}$ : Coefficient des pertes thermiques à l'avant de la vitre.

$$U_{av-1} = h_{vv} + h_{rc}$$

$h_{v,v}$ : Coefficient d'échange convectif du vent.

$$h_{v,v} = 5.67 + 3.86 \cdot V_v$$

$V_v$ : La vitesse de vent.

$h_{rc}$ : Coefficient d'échange radiatif entre la vitre et la voûte céleste.

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

$T_c$ : Température de ciel.

$$T_c = 0,0552 T_{amb}^{1.5}$$

$\tau_v$ : Transmissivité de vitre.

$\alpha_{ab}$ : Coefficient d'absorptivité de l'absorbeur.

$h_{v,ab-f}$ : Coefficient d'échange convectif entre l'absorbeur et le fluide caloporteur.

$$h_{v,ab-f} = \frac{N_u \lambda_f}{D_H}$$

$T_f$ : Température de fluide.

$\lambda_f$ : Conductivité thermique de l'air.

$N_u$ : Nombre de Nusselt.

$$N_u = 0.0158. R_e^{0.8} \quad \text{Pour} \quad \frac{L}{D_H} > 10$$

$D_H$ : Diamètre hydraulique.

$$D_H = \frac{2.l.e}{1+e}$$

$l$  : longueur de conduite.

$e$  : largeur de conduite.

$$R_e = \frac{\rho_f v_f D_H}{\mu}$$

$R_e$ : Le nombre de Reynolds.

$v_f$ : La vitesse de l'air.

$\mu$ : viscosité dynamique de l'air.

$$v_f = \frac{\dot{m}}{\rho_f \cdot A_f}$$

$\dot{m}$  : Débit massique.

$\rho_f$  : La masse volumique de l'air.

$A_f$  : La section de passage de l'air.

$$A_f = l.e$$

$$h_{r,ab-pal} = \sigma (T_{ab}^2 + T_{pal}^2) (T_{ab} + T_{pal}) / \left( \frac{1}{\varepsilon_{ab}} + 1/\varepsilon_{pal} - 1 \right)$$

$h_{r,ab-pal}$ : Le coefficient d'échange radiatif entre l'absorbeur et la plaque d'aluminium placée sur l'isolant.

$T_{pal}$ : Température de la plaque arrière.

$\varepsilon_{pal}$ : Emissivité de la plaque arrière.

$h_{v,pal-f}$ : Coefficient d'échange convectif entre l'isolant et le fluide caloporteur.

$$h_{v,pal-f} = h_{v,ab-f} = \frac{N_u \lambda_f}{D_H}$$

$U_{ar}$ : Coefficient des pertes thermiques à l'arrière du capteur.

$$U_{ar} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{e_{is}}{\lambda_{is}} + \frac{1}{h_{vv}}}$$

$e_{is}$ : Épaisseur de l'isolant.

### II.3 Distribution de la température selon la direction de l'écoulement de l'air et calcul de la température de sortie du fluide caloporteur :

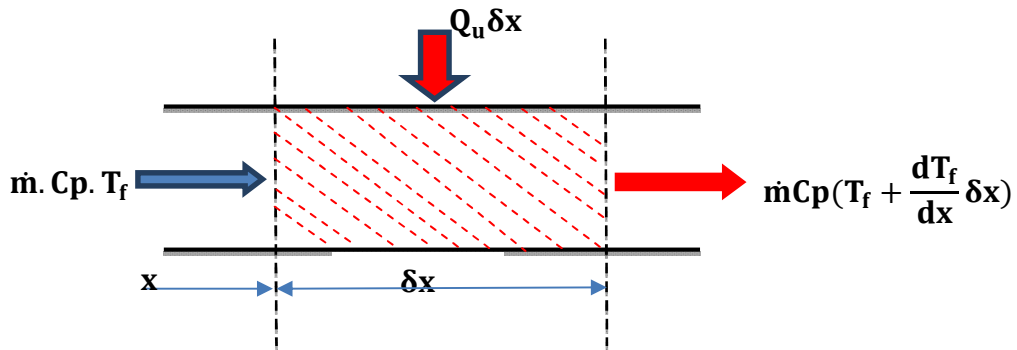


Fig. II.2. Tranche fictive « $\delta x$ » [20]

La conservation de l'énergie dans cette tranche nous donne :

$$\dot{m} c_p T_f + Q_u l \delta x = \dot{m} c_p \left( T_f + \frac{dT_f}{dx} \delta x \right)$$

$l$  : la largeur de capteur solaire.

Après simplification, on obtient :

$$\frac{dT_f}{dx} = \frac{Q_u l}{\dot{m} c_p}$$

Nous supposons que le transfert de chaleur avec le fluide (air) de température  $T_f$  est uniforme le long du capteur de longueur  $L$ . L'intégration de l'équation donne :

$$T_f(x) = \frac{Q_u l}{\dot{m} c_p} x + T_{fe}$$

Avec :  $T_f(x = 0) = T_{fe}$

Tels que :

$T_{fe}$ : La température d'entrée du fluide dans le capteur.

$T_{fs}$ : La température de sortie du fluide qui prend la valeur :

$$T_{fs} = \frac{Q_u l L}{\dot{m} c_p} + T_{fe} \quad (\text{II.1})$$

On suppose que la température du fluide varie linéairement le long du capteur, la valeur moyenne de la température est égale donc à la moyenne arithmétique entre l'entrée et la sortie :

$$T_f = \frac{T_{fe} + T_{fs}}{2} \quad (\text{II.2})$$

Des équations (II.1) et (II.2), on déduit :

$$Q_u = 2\dot{m}c_p \frac{(T_f - T_{fe})}{A}$$

On remplace  $l \cdot L$  par  $A$ .

En remplaçant la valeur de la puissance utile dans le système d'équations du bilan, on aboutit aux équations suivantes :

- **Pour la couverture transparente (vitre d'indice v):**

$$\left(\frac{h_{v,nat}}{2} + h_{r,ab-v} + U_{av-1}\right)T_v - \left(\frac{h_{v,nat}}{2} + h_{r,ab-v}\right)T_{ab} = \alpha_v I_g + U_{av-1}T_{amb}$$

- **Pour l'absorbeur (indice ab) :**

$$-\left(\frac{h_{v,nat}}{2} + h_{r,ab-v}\right)T_v + \left(\frac{h_{v,nat}}{2} + h_{r,ab-v} + h_{v,ab-f} + h_{r,ab-pal}\right)T_{ab} - h_{v,ab-f}T_f - h_{r,ab-pal}T_{pal} = (\tau_v \alpha_{ab})I_g$$

- **Pour le fluide caloporteur (air d'indice f):**

$$h_{v,ab-f}T_{ab} - \left(h_{v,ab-f} + h_{v,pal-f} + \frac{2\dot{m}c_p}{A}\right)T_f + h_{v,pal-f}T_{pal} = -\frac{2\dot{m}c_p}{A}T_{fe}$$

- **Pour l'isolant (d'indice pal):**

$$(h_{r,ab-pal} + U_{ar} + h_{v,pal-f})T_{pal} - h_{r,ab-pal}T_{ab} - h_{v,pal-f}T_f = U_{ar}T_{amb}$$

Ce système d'équations peut être mis sous forme d'une équation matricielle de dimension 4 :

$$[A][T] = [B]$$

Tels que :

$$[T] = \begin{bmatrix} T_v \\ T_{ab} \\ T_f \\ T_{pal} \end{bmatrix} \quad [B] = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \end{bmatrix} .$$

$$[A] = \begin{bmatrix} \left(\frac{h_{v,nat}}{2} + h_{r,ab-v} + U_{av-1}\right) & -\left(\frac{h_{v,nat}}{2} + h_{r,ab-v}\right) & 0 & 0 \\ -\left(\frac{h_{v,nat}}{2} + h_{r,ab-v}\right) & \left(\frac{h_{v,nat}}{2} + h_{r,ab-v} + h_{v,ab-f} + h_{r,ab-pal}\right) & -h_{v,ab-f} & -h_{r,ab-pal} \\ 0 & h_{v,ab-f} & -\left(h_{v,ab-f} + h_{v,pal-f} + \frac{2\dot{m}c_p}{A}\right) & h_{v,pal-f} \\ 0 & -h_{r,ab-pal} & -h_{v,pal-f} & (h_{r,ab-pal} + U_{ar} + h_{v,pal-f}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_v \\ T_{ab} \\ T_f \\ T_{pal} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \alpha_v I_g + U_{av-1} T_{amb} \\ (\tau_v \alpha_{ab}) I_g \\ -\frac{2\dot{m}c_p}{A} T_{fe} \\ U_{ar} T_{amb} \end{bmatrix}$$

Les températures sont déterminées par la matrice inverse :  $[T]=[A]^{-1}[b]$

## Conclusion :

Cette partie étant faite pour pouvoir trouver l'expression permettant de calculer les différents coefficients d'échanges thermiques et coefficients des pertes de chaleur, ainsi que les équations pour calculer théoriquement les températures des différents composants du capteur solaire et celle du fluide à la sortie.



# CHAPITRE III

## **Introduction :**

Un panneau solaire ou capteur solaire est un dispositif destiné à récupérer une partie de l'énergie du rayonnement solaire pour la convertir en une forme d'énergie utilisable par l'homme : électrique ou thermique.

Les panneaux solaires thermiques, appelés capteurs solaires thermiques, convertissent la lumière provenant du soleil en chaleur récupérée et utilisée. [16]

### **III.1 Les différents types de capteurs solaires :**

#### **III.1.1 Capteur plan sans vitrage :**

Ces capteurs ne sont pas isothermes, ils conviennent mieux à des applications à basse température (inférieure à 30°C). Les capteurs plans sans vitrage sont habituellement fabriqués en un plastique noir qui a été stabilisé afin de résister aux rayons ultraviolets. Comme ces capteurs ne possèdent pas de vitrage, une grande partie de l'énergie solaire est absorbée. Cependant, parce qu'ils ne sont pas isothermes, une partie de la chaleur absorbée est perdue lorsqu'il y a du vent et que la température extérieure n'est pas assez chaude. [17]



**Fig. III.1.** Capteurs plans sans vitrage [15]

#### **III.1.2 Les capteurs plans vitrés :**

Les capteurs solaires plans vitrés sont très répandus. Ils existent sous formes de capteurs à eau et de capteurs à air. Ces capteurs conviennent mieux à des applications à température modérée où les températures souhaitées se situent entre 30°C et 70°C. Les capteurs à circulation d'eau sont plus couramment utilisés pour la production de l'eau chaude

sanitaire à l'échelle individuelle ou collective, pour un usage industriel, ainsi que pour les piscines intérieures. Les capteurs à air sont utilisés pour le séchage, pour le chauffage des locaux aussi l'air de ventilation. [16]

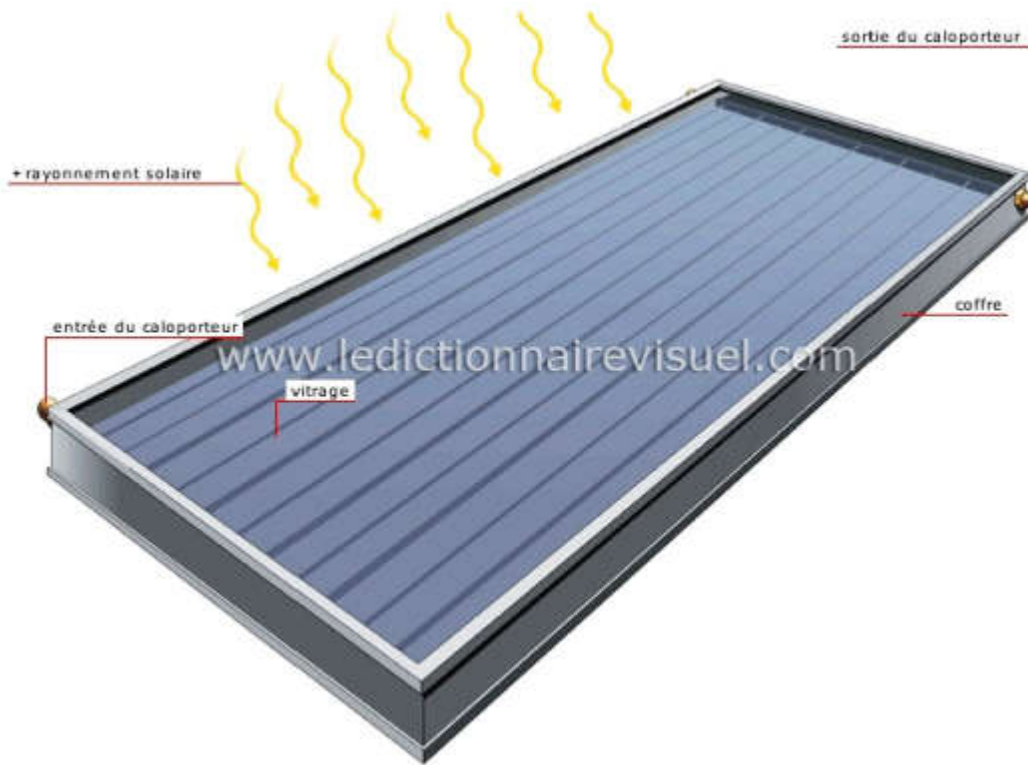


Fig. III.2. Capteur plan de type vitré [16]

### III.1.3 Les capteurs sous vide :

Les capteurs solaires "sous vide" sont composés d'une série de tubes en verre transparents. Dans chaque tube il y a une plaque absorbante pour capter le rayonnement solaire et un échangeur pour favoriser le transfert de l'énergie thermique. Les tubes sont mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques convectives de la plaque absorbante et la plaque absorbante reçoit un traitement sélectif pour empêcher le rayonnement à ce dissiper sous forme de grande longueur d'onde. Ainsi, on peut réaliser des capteurs solaires performants sans une isolation thermique rapportée ou un coffre de protection. [15]



**Fig. III.3.** Capteur sous vide [15]

#### **III.1.4 Les capteurs curvilignes :**

Les capteurs solaires curvilignes existent sous formes de capteurs à air. Ces capteurs conviennent mieux à des applications à température modérée où les températures souhaitées se situent entre 30°C et 70°C. Les capteurs à air sont utilisés pour le séchage, pour le chauffage des locaux aussi l'air de ventilation.



**Fig. III.4.** Capteur curviligne [14]

### III.2 Les principaux éléments constituant un capteur plan et curviligne :

Un capteur plan vitré est constitué principalement d'une couverture transparente, d'un absorbeur et d'une isolation thermique.

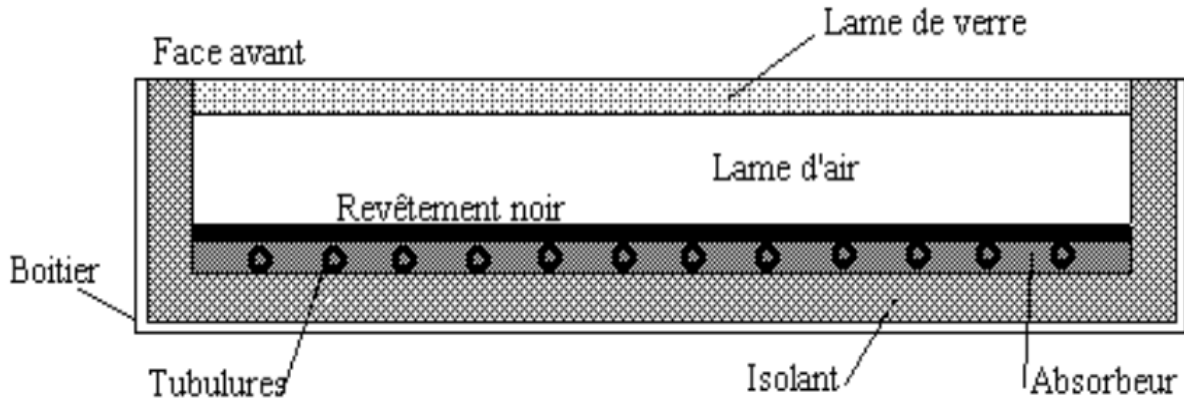


Fig. III.5. Coupe schématique d'un capteur plan [15]

#### III.2.1 La couverture transparente :

Du fait de sa résistance aux agressions mécaniques (chocs, grêle, neige, ...etc) et aux agressions thermiques (brusque refroidissement, ...etc), le verre sécurisé est spécialement utilisé comme couverture transparente. Afin d'être le plus possiblement transparent et transmettant du rayonnement solaire, il est de préférence que le vitrage soit pauvre en oxyde de fer. [15]

Pour les capteurs intégrés en toiture, des matériaux synthétiques sont parfois utilisés. Ils sont plus légers, moins chers et plus facile à mettre en place, mais leurs durées de vie sont moins que celle du verre ordinaire. [15]

Plus souvent, le vitrage est légèrement structuré, ainsi, il répercut la fraction réfléchi du rayonnement solaire incident, pour diminuer un éventuel éblouissement. [15] Les principales caractéristiques d'un vitrage sont :

- Son coefficient de transmission ( $\tau$ ).
- Son coefficient d'émission ( $\epsilon$ ).

Le coefficient de transmission ( $\tau$ ) est essentiellement déterminé par la structure du vitrage (double ou triple, l'épaisseur des vitres, des espaces et la nature du gaz de remplissage entre l'absorbteur et le vitrage). [15]

La particularité d'un bon vitrage est son faible absorption du rayonnement solaire d'où sa transmission maximale d'énergie vers l'absorbeur. Actuellement le verre le plus souvent adopté pour les capteurs plan est **le verre prismé**. Sa spécificité est sa faible réflexion du rayonnement (1.5%). Il peut transmettre jusqu'à 96% du rayonnement. [15]

### **III.2.2 L'absorbeur :**

L'élément principal de chaque capteur est l'absorbeur. L'absorbeur se compose d'une plaque en métal conducteur de chaleur avec une couche sélective et un tube pour le transport d'énergie, souvent en cuivre intégré à la plaque par une soudure spéciale à l'ultrason. [17]

Le but est de tirer le maximum de profit pour utiliser l'énergie solaire, c'est-à-dire atteindre la plus haut possible rentabilité thermique. C'est pourquoi on s'efforce d'obtenir un absorbeur qui possède une grande capacité d'absorption mais ayant un degré d'émission ou de réflexion très bas : on peut atteindre cela grâce à la technique de la couche sélective. [17]

Pour utiliser l'absorbeur le plus longtemps possible, il faut protéger cette surface sélective contre toutes les influences atmosphériques et saisonnières par un vitrage et par une isolation. D'autres procédés la mettent sous vide. [17]

### **III.2.3 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 la laine de verre et les mousses polyuréthanes. Leur épaisseur varie de 4 à 8 cm. [18]

Un bon isolant doit les qualités suivantes :

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

### III.3 Principe de fonctionnement d'un capteur plan et curviligne :

Une partie du rayonnement solaire qui arrive sur la vitre la traverse pour atteindre la plaque absorbante. Cette dernière s'échauffe et transfère la chaleur au fluide caloporteur qui circule dans les tubes. Comme tout corps qui s'échauffe, l'absorbeur émet un rayonnement qui est réfléchi par la vitre, c'est le principe de « l'effet de serre ». L'isolant a pour fonction de minimiser les déperditions thermiques avec l'extérieur. En effet, la grande partie de l'énergie absorbée doit être transmise au fluide, il faut donc minimiser les pertes avec l'environnement proche. [15]

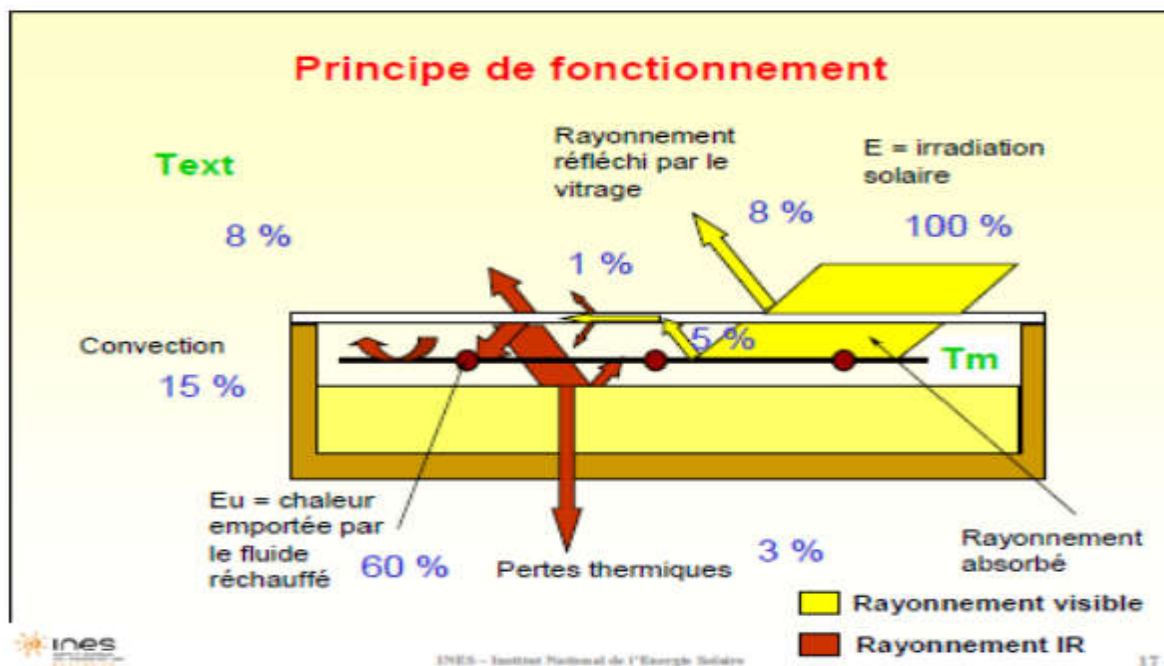


Fig. III.6. Principe de fonctionnement d'un capteur plan. [19]

### III.4 Les paramètres caractérisant le fonctionnement d'un capteur plan et curviligne :

Les paramètres caractérisant le fonctionnement d'un capteur plan peuvent être classés en deux catégories : les paramètres externes et les paramètres internes.

#### III.4.1 Les paramètres externes :

Les principaux paramètres externes qui peuvent intervenir directement sur les performances d'un capteur plan sont : [16]

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

### III.4.2 Les paramètres internes :

Paramètres géométriques :

- Les paramètres de position : angle d'inclinaison, orientation du capteur.
- La surface du capteur.
- Les dimensions de différents éléments : épaisseur, longueur et largeur.

Paramètres de fonctionnement :

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

Ces paramètres sont très importants. Ils permettent, en tenant compte du coût, d'avoir une température de sortie du fluide élevée (puissance utile élevée). En d'autres termes ; un meilleur rendement du capteur. [15]

### III.5 Inclinaison optimale d'un capteur :

L'angle pour le quel le capteur doit être incliné pour capter le maximum de rayonnement solaire s'appelle l'angle d'inclinaison optimal du capteur, Ce qui revient à une position perpendiculaire par rapport aux rayonnements solaires [1]. Compte tenu des mouvements permanents de la terre et du soleil, à chaque instant correspond une inclinaison optimale, donc la meilleure solution serait d'équiper le capteur d'un mécanisme de poursuite, mais cette solution n'est pas gratuite [2]. L'inclinaison de la plupart des capteurs plans est généralement fixe et son optimum serait de  $L+\delta/2$  en hiver et de  $L-\delta/2$  en été et cela afin d'avoir le plus faible angle entre l'incidence du flux solaire et la normale du capteur.

### Conclusion :

Il est clair que ces systèmes se différencient de plusieurs paramètres entre autres ceux qui influent beaucoup sur leurs performances. Il s'agit surtout de leurs géométries plane, curviligne, concentrique ou parabolique et aussi la nature des matériaux des différents composants surtout le corps noir responsable des échanges de chaleur.



# CHAPITRE IV

## **Introduction :**

Dans ce chapitre, on va présenter une description générale du dispositif expérimental qui a été mis en place pour notre étude expérimentale. En vue de comparaison les performances de deux types des capteurs solaires plan et curviligne on à évaluer les paramètres des performances de ces deux types des capteurs solaires avec une seule veine d'écoulement d'air situé entre l'absorbeur et le plan d'écoulement inférieur, à savoir l'évolution du rendement thermique en fonction du débit et en fonction du temps, la variation de la température de sortie en fonction du temps et en fonction du débit. Notre travail expérimental a eu lieu au hall technologique du département de génie mécanique de l'Université de Biskra.

### **IV.1 Caractéristiques du site des mesures (Biskra):**

La ville de Biskra est située à une latitude de 34°48`nord et une longitude de 5°44`Est, son altitude par rapport au niveau de la mer est 85m, la pression atmosphérique à cette altitude est 1,004 Bar. Elle est caractérisée par un climat saharien. Les tests sont effectués sous une source de rayonnement solaire naturel. Il s'agit de:

- a) Pour les débits ( $Q_v$ ) fixes et variables, on a considéré les valeurs données dans les tableaux.
- b) L'inclinaison des panneaux solaires par rapport à l'horizontale est fixée égale à la latitude de Biskra.
- c) Mesure de la température de l'air ambiante et celle à l'entrée du capteur
- d) Mesure de la température de l'air à sortie du capteur.
- f) Mesure du rayonnement solaire.

### **IV.2 Description du capteur solaire plan et curviligne à air :**

Le capteur solaire plan et curviligne à air est fabriqué au sein du Département de Génie Mécanique de l'Université de Biskra dont les dimensions totales brutes sont de 160 cm de longueur, 80 cm de largeur et d'une hauteur égale à 12 cm.

#### **Caractéristiques techniques:**

Dans cette étude expérimentale, on a considéré les paramètres géométriques et optiques des principaux composants suivants :

- la couverture transparente est en plexiglas d'une épaisseur égale à 3 mm.

- Tôle d'acier galvanisé de 1 mm d'épaisseur et de 0.8 m × 1.6 m de surface peinte en noir mat.
- L'isolation est en polystyrène d'épaisseur égale à 4 cm.
- Panneau contreplaqué de 3 mm utilisé comme couverture arrière.
- Longueur du conduit utile  $L = 1.6$  m.
- Largeur du conduit utile  $l = 0.8$  m.
- Inclinaison du capteur  $i = 28^\circ$ .
- L'écoulement est en dessous de l'absorbeur.
- Le fluide caloporteur est l'air.
- La distance entre absorbeur et la vitre égale à 2.2 cm.



**Fig. IV.1.** Capteur solaire plan à air.



**Fig. IV.2.** Capteur solaire curviligne.



Fig. IV.3. Capteurs solaires plan et curviligne.

### IV.3 Instrument de mesures utilisés :

Durant le protocole expérimental, on a utilisé les instruments de mesures suivants :



Fig. IV.4. Pyranomètre manuel



Fig. IV.5. Thermo-anémomètre à hélice.



**Fig. IV.6.** Anémomètre à coupelles

Les expériences sont effectuées en plein air, à proximités du hall technologique du département de génie mécanique. Les relevées sont faites pendant des journées bien ensoleillées avec parfois des passages nuageux.

Pour suivre l'évolution des paramètres mesurables nécessaires pour notre étude expérimentale, telle que les températures de l'air à l'entrée, à la sortie du capteur, le débit d'air, le rayonnement solaire sur le plan capteur inclinée, la vitesse du vent, on a dressé des tableaux de mesure, où les relevées sont réalisées chaque 30 mn, à partir de 09H00 matin jusqu'au 16H:00 de l'après midi. Pour varier le débit d'air dans le conduit utile, l'installation est dotée d'un potentiomètre variateur de tension qui permet d'ajuster le moteur électrique de l'aspirateur d'air relié au capteur solaire. Concernant les températures d'air à l'entrée et à la sortie des capteurs solaires, les mesures sont faites par des sondes. La lecture est réalisée directement sur écran d'affichage.

### **Conclusion :**

Dans cette étude, deux capteurs solaires plan et curviligne à air ont été réalisés et testé dans le hall technologique de Biskra. On a essayé de mesurer les principaux paramètres essentiels avec débit variable et débit constant. La variation du débit est assurée par un potentiomètre électrique qui permet d'ajuster le nombre de tour de la pompe à air utilisé pour aspirer le fluide caloporteur.

# CHAPITRE V

## Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons et interpréterons les résultats des tests effectués sur les deux types des capteurs solaires plan et curviligne.

A partir des relevés expérimentaux, on a déterminé le rendement thermique en fonction du temps et en fonction du débit massique, la variation de température de sortie de ces deux types des capteurs en fonction du temps et en fonction du débit. Le but de cette étude est d'établir une étude comparative des performances thermiques.

### V.1 Tableaux types des tests effectués :

Le tableau suivant regroupe l'ensemble des données relatives aux mesures effectuées et aux calculs effectués concernant les paramètres considérés dans cette étude.

#### Capteur plan

jour : 16/02/2017

Heure	G (w/m <sup>2</sup> )	V <sub>vent</sub> (m <sup>2</sup> /s)	T <sub>e</sub> (°c)	T <sub>s</sub> (°c)	ΔT(°c)	T <sub>a</sub> (°c)	V <sub>sortie</sub> (m <sup>2</sup> /s)	ṁ(kg/s)	η(%)	ΔT/G (Km2/w)
9H00	367	1	13,7	23,2	9,5	13,7	4,35	0,0196794	0,39877429	0,02588556
9H30	503	0	14,7	29,1	14,4	14,3	4,35	0,0196794	0,44102592	0,02862823
10H00	635	0	16,4	34,2	17,8	16,5	4,35	0,0196794	0,43183305	0,0280315
10H30	739	1	18,5	43,1	24,6	17	4,35	0,0196794	0,51281447	0,03328823
11H00	800	0	20,3	47,9	27,6	18,6	4,35	0,0196794	0,53148217	0,0345
11H30	875	0	21,4	52,9	31,5	19,4	4,35	0,0196794	0,55459009	0,036
12H00	920	1,1	23,2	55,9	32,7	20,7	4,45	0,0201318	0,56014477	0,03554348
12H30	917	1	24	55,4	31,4	20,4	4,45	0,0201318	0,5396357	0,03424209
13H00	935	0	24,9	60	35,1	23	4,35	0,0196794	0,57831587	0,03754011
13H30	928	0	25,2	58,9	33,7	22,5	4,35	0,0196794	0,55943744	0,03631466
14H00	893	0	25,5	56	30,5	21,9	4,15	0,0187746	0,50196892	0,03415454
14H30	830	2,1	25,2	52,8	27,6	22,1	4,15	0,0187746	0,48871924	0,03325301
15H00	775	0	24,6	47,8	23,2	21,3	4,2	0,0190008	0,4452623	0,02993548
15H30	684	0	24,2	42,7	18,5	21,5	4,2	0,0190008	0,40229558	0,02704678
16H00	592	2	23,7	38,7	15	23,6	4,5	0,020358	0,40379637	0,02533784

**Tab. V.1.** Mesures réalisées au cours du 16/02/2017 pour un capteur solaire plan



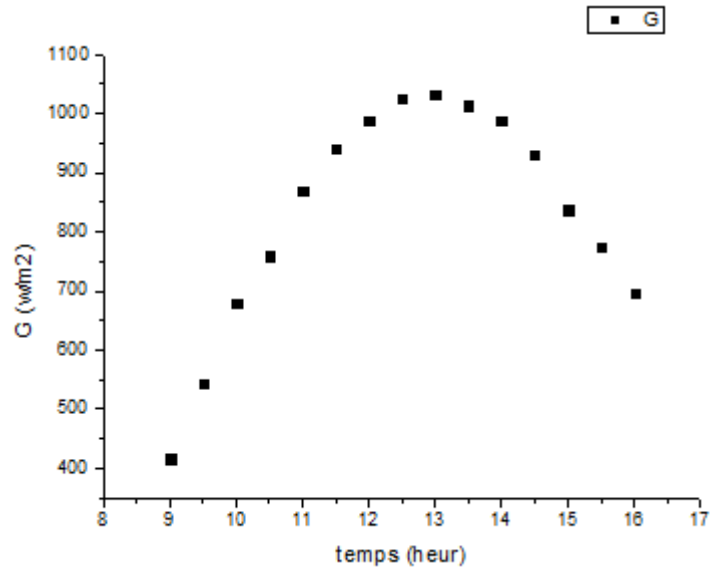
**Capteur curviligne :**

Heure	G (w/m <sup>2</sup> )	V <sub>vent</sub> (m <sup>2</sup> /s)	T <sub>e</sub> (°c)	T <sub>s</sub> (°c)	ΔT(°c)	T <sub>a</sub> (°c)	V <sub>sortie</sub> (m <sup>2</sup> /s)	ṁ(kg/s)	η(%)	ΔT/G (Km2/w)
9H00	367	1	14,3	24,5	10,2	13,7	4,35	0,0196794	0,42815765	0,02779292
9H30	503	0	15,6	30,4	14,8	14,3	4,35	0,0196794	0,45327664	0,02942346
10H00	635	0	17,5	36,7	19,2	16,5	4,35	0,0196794	0,46579745	0,03023622
10H30	739	1	19,7	44,2	24,5	17	4,35	0,0196794	0,51072986	0,03315291
11H00	800	0	21,7	49,7	28	18,6	4,35	0,0196794	0,53918481	0,035
11H30	875	0	22,8	54,3	31,5	19,4	4,35	0,0196794	0,55459009	0,036
12H00	920	1,1	25,5	55,7	30,2	20,7	4,45	0,0201318	0,51732025	0,03282609
12H30	917	1	26,2	56,3	30,1	20,4	4,45	0,0201318	0,51729409	0,03282443
13H00	935	0	27,6	64,5	36,9	23	4,35	0,0196794	0,60797309	0,03946524
13H30	928	0	27,6	63,4	35,8	22,5	4,35	0,0196794	0,59429853	0,03857759
14H00	893	0	27,7	60	32,3	21,9	4,15	0,0187746	0,53159331	0,03617021
14H30	830	2,1	27,4	57,2	29,8	22,1	4,15	0,0187746	0,52767512	0,03590361
15H00	775	0	26,7	53	26,3	21,3	4,2	0,0190008	0,50475855	0,03393548
15H30	684	0	26	48,6	22,6	21,5	4,2	0,0190008	0,49145298	0,03304094
16H00	592	2	25,1	43,5	18,4	23,6	4,5	0,020358	0,49532355	0,03108108

**Tab. V.2.** Mesures réalisées au cours du 16/02/2017 pour un capteur solaire curviligne.**V.2 Variation du rayonnement solaire incident :**

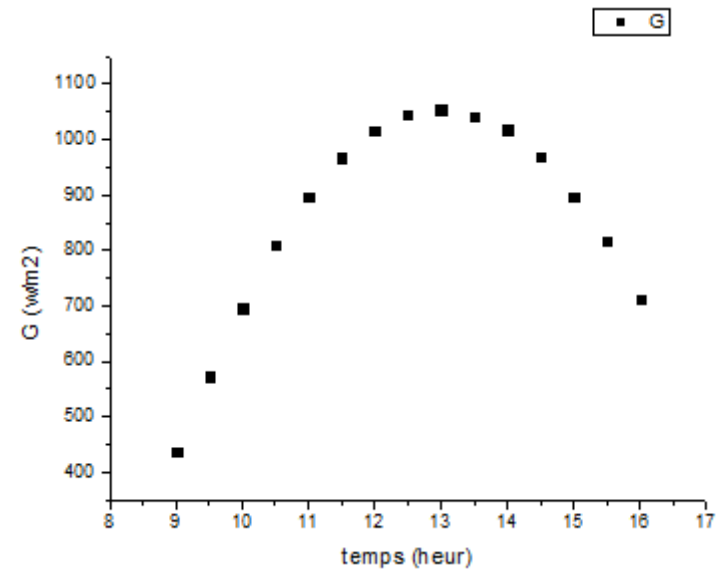
Les mesures faites sont effectuées pour la période de février à avril 2017 pour quelques jours de chaque mois. Ces tests sont faits sur les deux types de capteurs solaires étudiés (plan et curviligne). Ces expériences sont en premier lieu effectuées pour des débits constants le long de la journée. Ensuite elles sont poursuivies pour des débits variables.

Le but est de voir le comportement des deux systèmes vis-à-vis des variations liées au milieu extérieur et aussi celles liées aux paramètres de fonctionnement (débit, géométrie...).



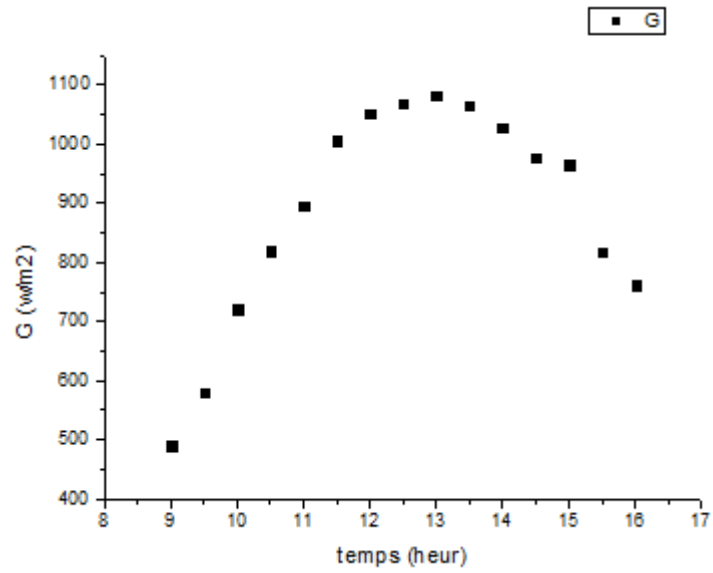
**Fig. V.1.**Variation de rayonnement solaire en fonction du temps.

Jours : 27/02/2017 ciel clair+vent.



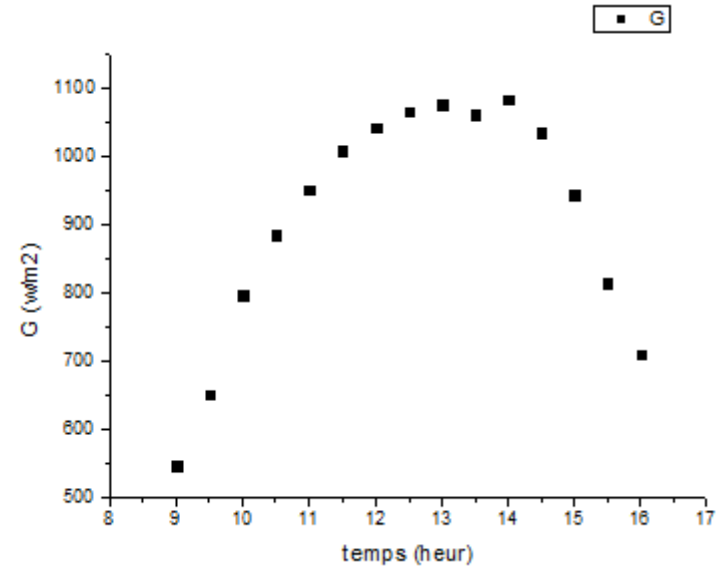
**Fig. V.2.**Variation de rayonnement solaire en fonction du temps.

Jours : 12/03/2017 ciel clair+vent.



**Fig. V.3.**Variation de rayonnement solaire en fonction du temps.

Jours : 19/03/2017 ciel clair.



**Fig. V.4.**Variation de rayonnement solaire en fonction du temps.

Jours : 12/04/2017 ciel clair.

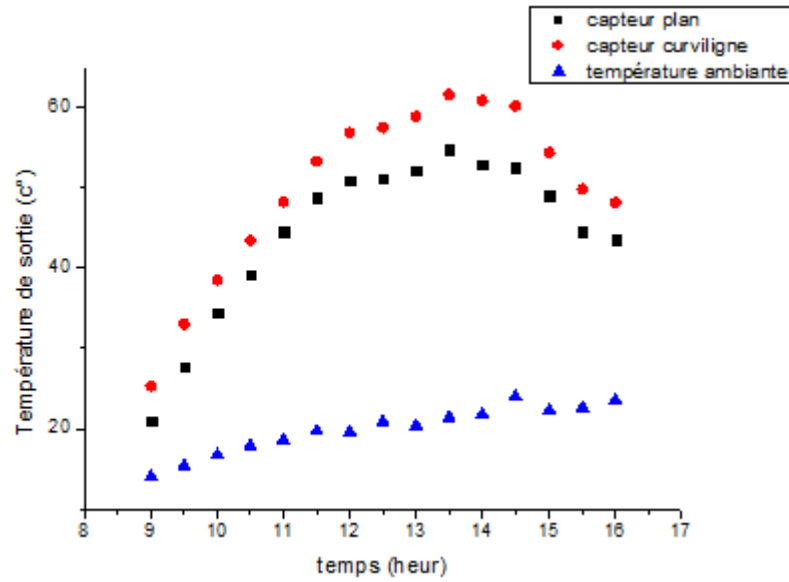
En analysant les résultats présentés dans les figures V.1 jusqu'à V.4, on déduit que le rayonnement solaire commence par des valeurs assez faibles 350 à 550 w / m<sup>2</sup> au début de l'expérience vers 9h du matin et continue d'augmenter jusqu'à atteindre sa valeur supérieure vers 13h, une valeur de 1000 à 1100 w / m<sup>2</sup>, puisqu'il commence à diminuer pour atteindre une valeur comprise entre 600 et 700 w / m<sup>2</sup> à 16h. Les résultats sont pris pour un ciel clair durant toute l'expérience.

A remarquer également que le profil de variation du rayonnement solaire globale suite une allure sinusoïdale. La branche qui nous intéresse est celle du lever au coucher du soleil avec une amplitude qui correspond au rayonnement solaire maximale enregistré au milieu de la journée (midi solaire).

### **V.3 Variation de la température de sortie en fonction du temps et débit :**

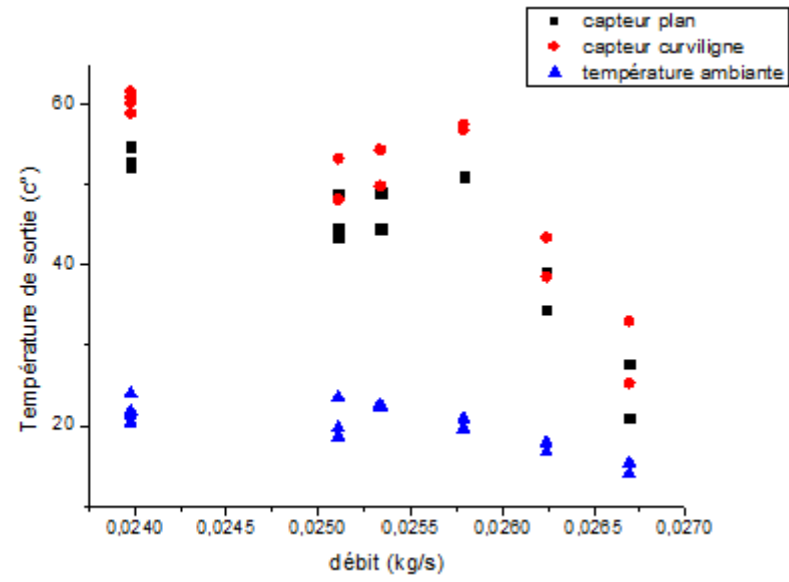
Les courbes qui suivent montrent, pour les deux capteurs la variation de la température de sortie du fluide caloporteur en fonction du temps durant toute la journée et ceci pour un débit constant. La température ambiante qui est celle du fluide à l'entrée est aussi donnée dans les mêmes figures.

**Débit constant :**



**Fig. V.5.** Variation de température de sortie en fonction du temps.

Jours : 27/02/2017 ciel clair+vent, Débit=0,02528916 (kg/s).



**Fig. V.6.** Variation de température de sortie en fonction du débit.

Jours : 27/02/2017 ciel clair+vent, Débit=0,02528916 (kg/s).

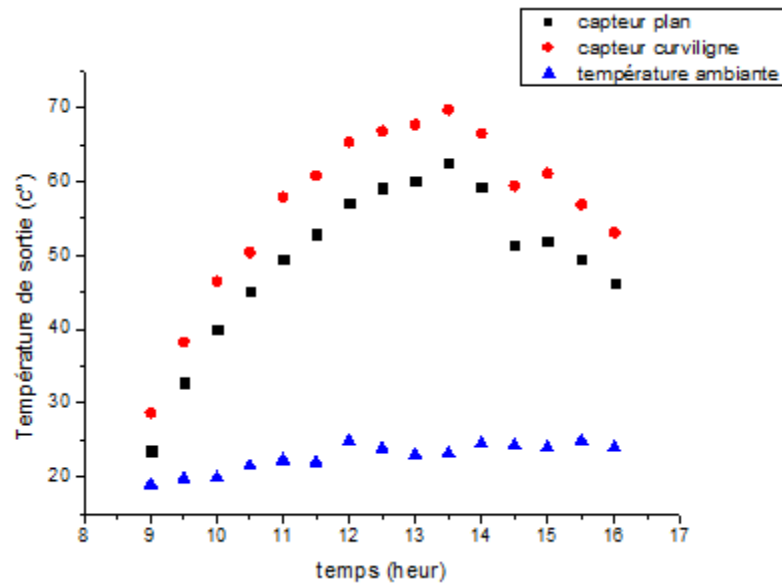


Fig. V.7.Variation de température de sortie en fonction du temps.

Jours : 19/03/2017 ciel clair, Débit=0,0242034 (kg/s).

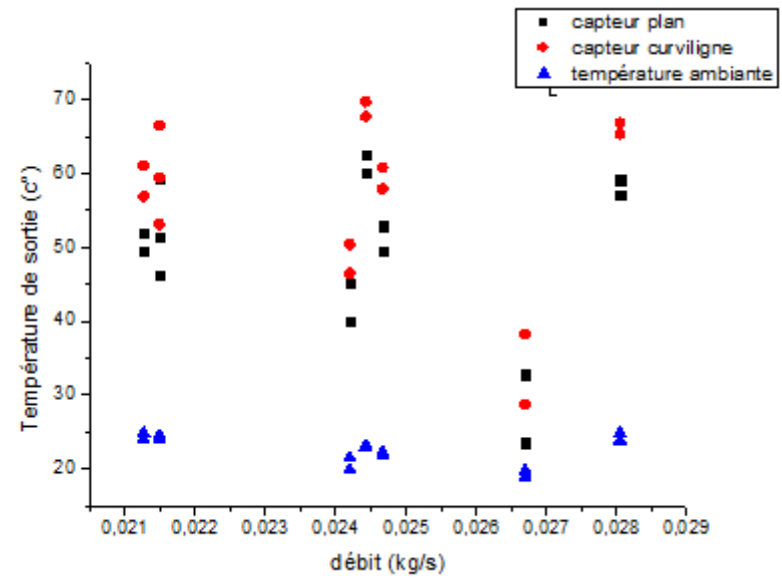


Fig. V.8.Variation de température de sortie en fonction du débit.

Jours : 19/03/2017 ciel clair, Débit=0,0242034 (kg/s).

• Débit variable :

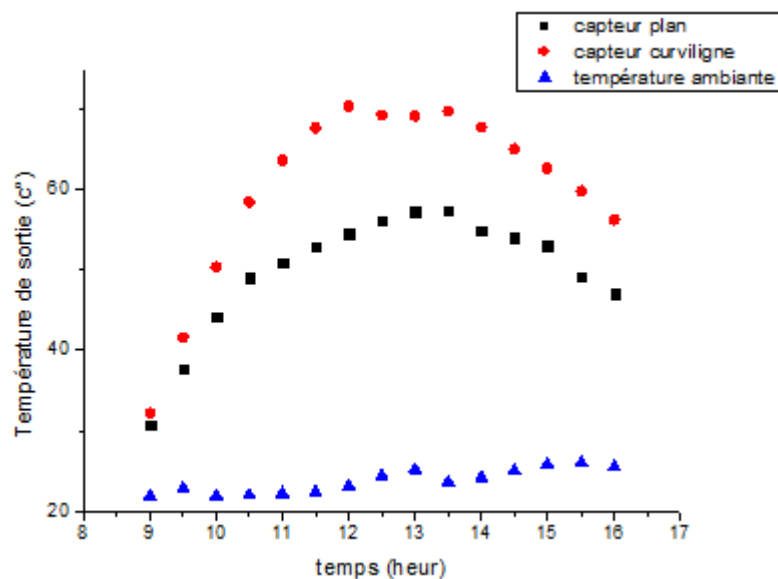


Fig. V.9. Variation de température de sortie en fonction du temps.

Jours : 10/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017676776 (kg/s).

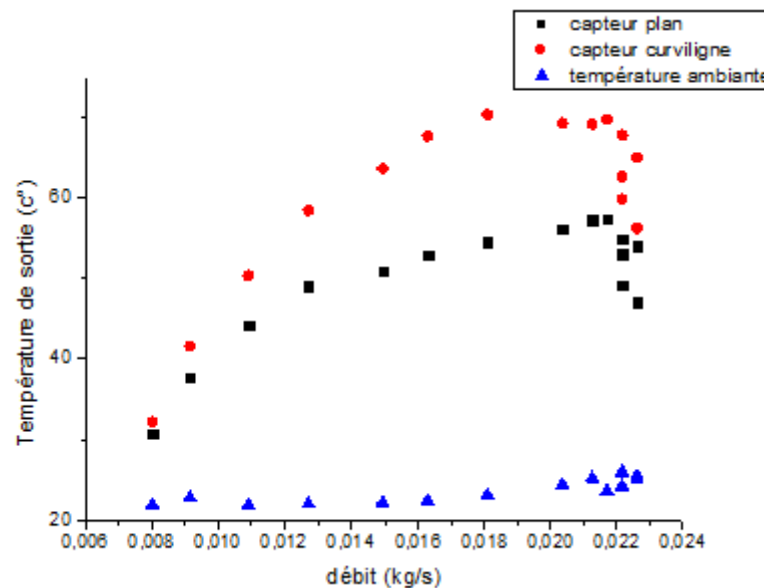
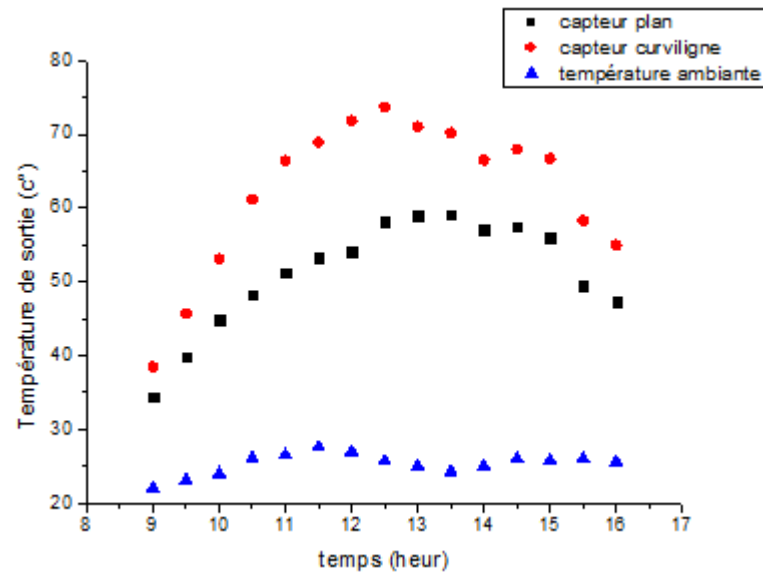


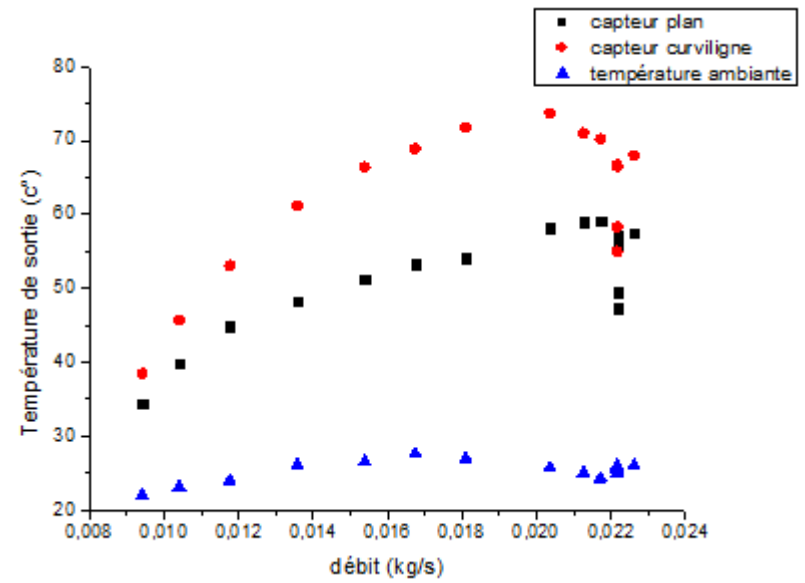
Fig. V.10. Variation de température de sortie en fonction du débit.

Jours : 10/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017676776 (kg/s).



**Fig. V.11.**Variation de température de sortie en fonction du temps.

Jours : 12/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017999488 (kg/s).



**Fig. V.12.**Variation de température de sortie en fonction du débit.

Jours : 12/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017999488 (kg/s).



- Après analyse des courbes de la figure (V.5) jusqu'à (V.12) qui traduisent pour des débits constant toute la journée la variation des températures de sortie du fluide caloporteur. Il est clair de constater que la température de sortie du capteur curviligne est supérieure à la température de sortie du capteur plan. Les écarts remarquables sont fonction du débit massique.

#### V.4 Calculs du rendement thermique :

Le rendement thermique de l'absorbeur est le rapport de la puissance utile à la puissance

incidente. Il est donné par:  $\eta = \frac{\rho \cdot c_p \cdot Q_v \cdot (T_s - T_a)}{G^* \cdot S_c}$

où:  $\rho$  : est la masse volumique de l'air donnée par:  $\rho = \rho_0 \frac{273}{273 + T_m} \cdot \frac{P(z)}{P_0}$

Le terme  $(P/P_0)$  représente la correction de l'altitude. La pression standard ( $P_0$ ) au niveau de la mer, à la température de 15°C (soit 288 K) est:  $P_0 = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Ce qu'on exprime aussi sous la forme:  $P_0 = 1013,25 \text{ mb}$        $P_0 = 760 \text{ mm de Hg.}$

Dans ces conditions la masse volumique de l'air est  $\rho = 1,293 \text{ Kg/m}^3$  :

D'autre part, on décompose verticalement l'atmosphère en couches, la limite de chaque couche est définie d'après le changement de la variation de température en fonction de l'altitude. Dans le troposphère, la température décroît de 6,5°C par Kilomètre

(sauf au voisinage du sol) et la pression  $P(z)$  suit la forme:  $P(z) = P_0 \left[ 1 - \frac{0,0065 \cdot Z}{288,15} \right]^{5,31}$

Pour des altitudes inférieures 3 kilomètres, cette formule peut s'écrire sous la forme :

$$P(z) = P_0 \exp(-0,1198 \cdot Z) \quad (Z) \text{ en kilomètres.}$$

ou bien sous la forme simplifiée :  $\frac{P(z)}{P_0} = (0,89)^z$

$T_m$  : est la température de mesure en °C

$c_p$  : est la capacité calorifique de l'air égale à 1005 en [J/kg.K].

$Q_v$ : est le débit volumique en [m<sup>3</sup> /h.m<sup>2</sup>].

$S$  : surface du capteur en m<sup>2</sup>.

$G^*$  : est le rayonnement solaire incident en [W/m<sup>2</sup>].

$T_s$  : est la température de sortie du capteur en °C.

$T_a$ : est la température à l'entrée du capteur en °C.

Les tests réalisés ont données les résultats suivants :

### V.5 Variation de rendement thermique en fonction du temps et débit :

- Pour débit constant :

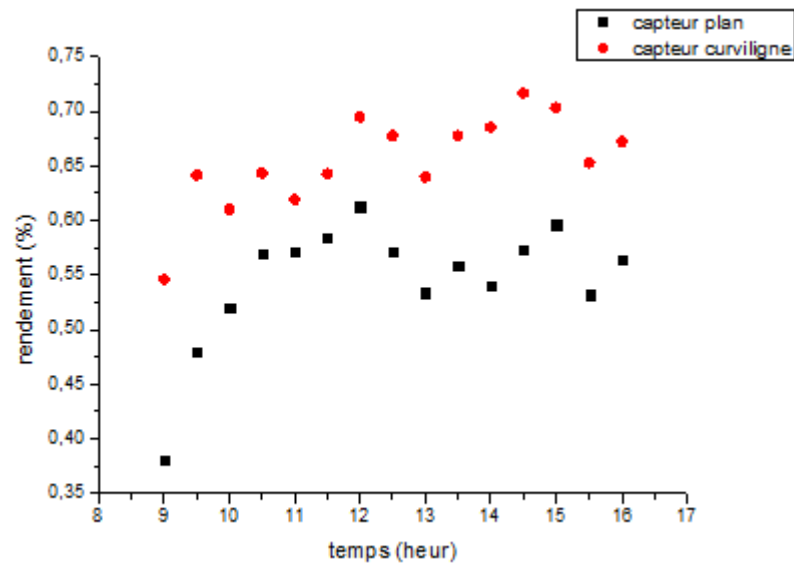


Fig. V.13.Variation de rendement en fonction du temps.

Jours : 27/02/2017 ciel clair+vent, Débit=0,02528916 (kg/s).

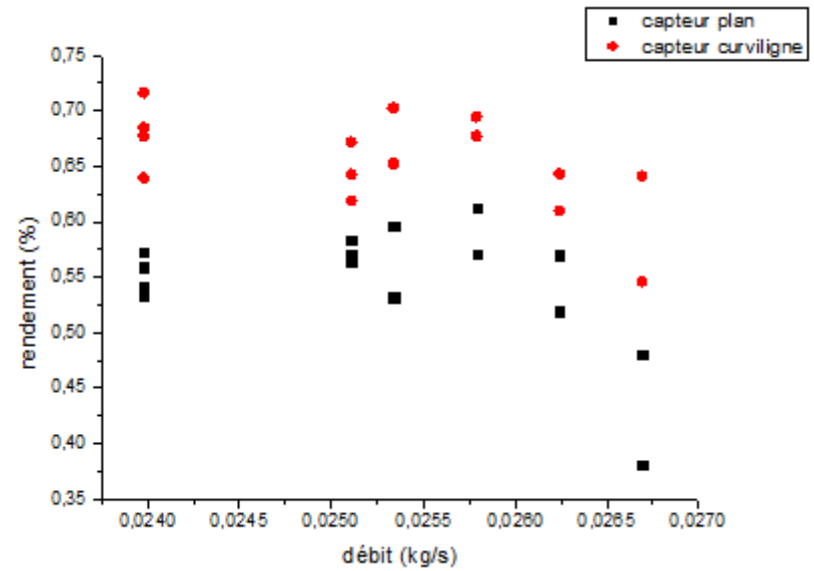
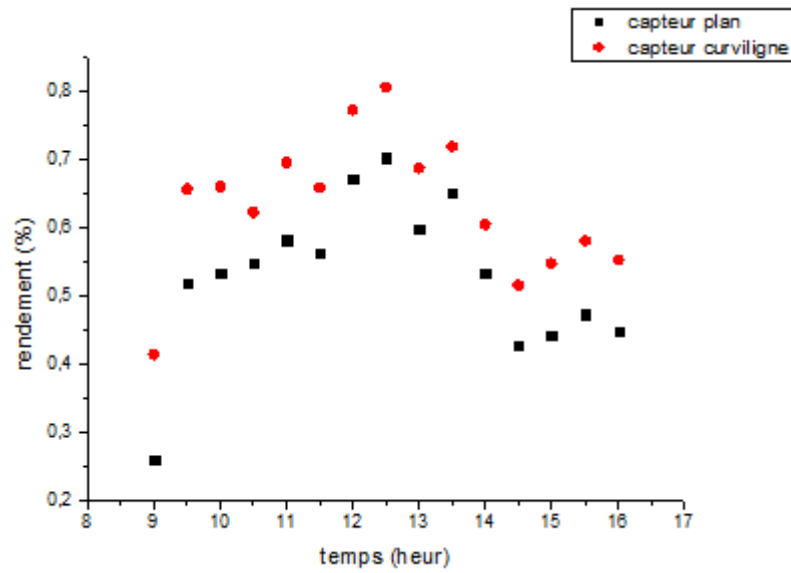


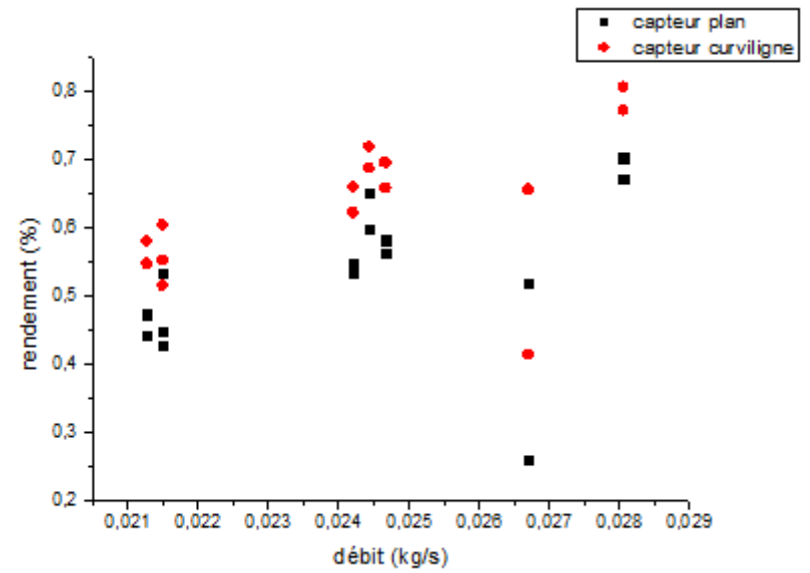
Fig. V.14.Variation de rendement en fonction du débit.

Jours : 27/02/2017 ciel clair+vent, Débit=0,02528916 (kg/s).



**Fig. V.15.**Variation de rendement en fonction du temps.

Jours : 19/03/2017 ciel clair, Débit=0,0242034(kg/s).

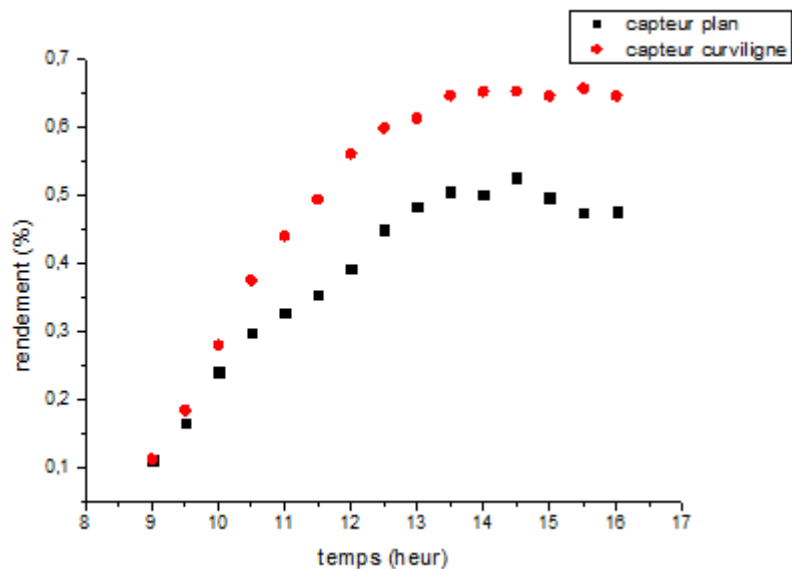


**Fig. V.16.**Variation de rendement en fonction du débit.

Jours : 19/03/2017 ciel clair, Débit=0,0242034(kg/s).

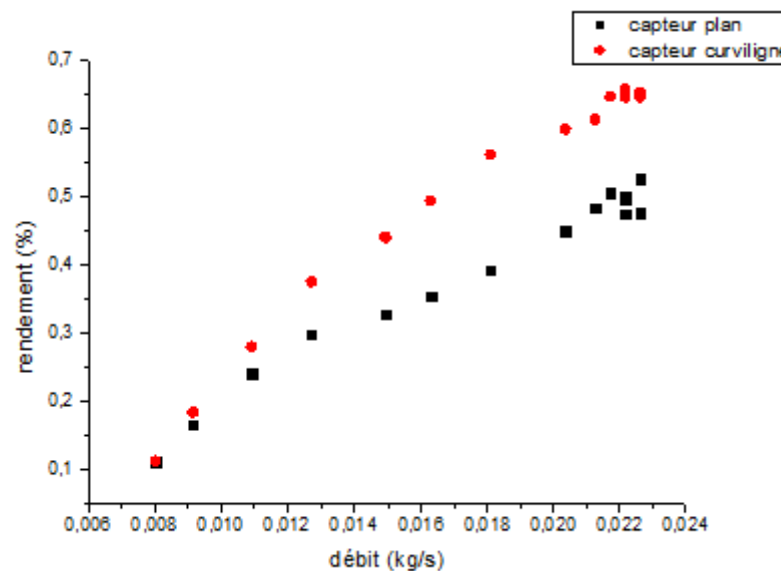
Il est à noter ici pour la variation du rendement est donnée pour une valeur moyenne du débit.

- Pour débit variable :



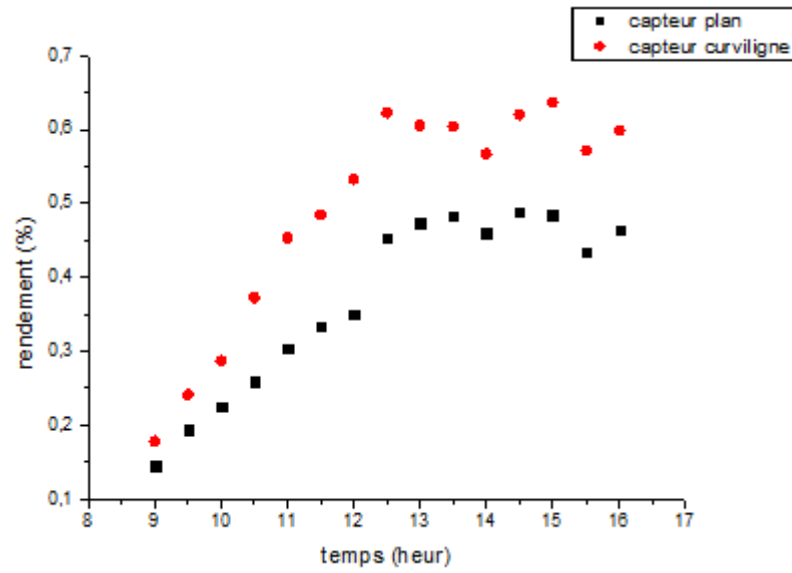
**Fig. V.17.**Variation de rendement en fonction du temps.

Jours : 10/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017676776 (kg/s).



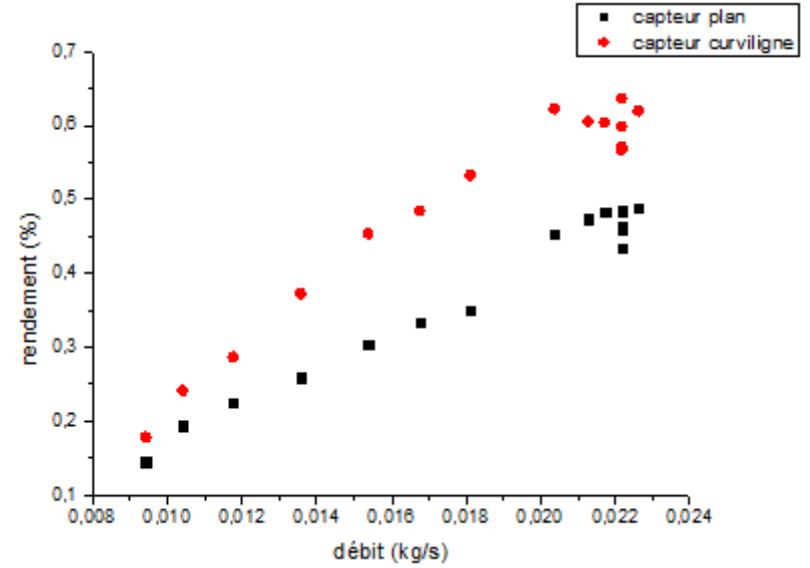
**Fig. V.18.**Variation de rendement en fonction du débit.

Jours : 10/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017676776 (kg/s).



**Fig. V.19.**Variation de rendement en fonction du temps.

Jours : 12/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017999488 (kg/s).



**Fig. V.20.**Variation de rendement en fonction du débit.

Jours : 12/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017999488 (kg/s).

L'analyse des courbes de la figure (V.13) à (V.20) montre que le rendement pour le capteur curviligne augmente en fonction du temps jusqu'à atteindre sa limite vers 13h pour atteindre une valeur de 60% à 80%, par contre pour le capteur plan le rendement augmente aussi jusqu'à atteindre sa limite de 45% à 70%, vers 13h mais pour une valeur moins que celle d'un capteur curviligne.

Ces résultats montrent de bonnes performances pour le capteur curviligne notamment pour des débits massique constants compris entre 0.021 et 0.025 kg/s.

Pour un débit variable l'analyse des courbes montre que le rendement en fonction du temps augmente jusqu'à atteindre une valeur de 65 % pour le capture curviligne et de 50 % à 55 % pour le capteur plan.

## V.6 Rendement thermique en fonction de $\Delta T/G$ :

La variation du rendement du capteur en fonction de l'élévation de la température de l'air à la sortie du capteur rapportée au flux solaire est intéressante. Nous comparons les différents résultats obtenus à partir des configurations étudiées, la meilleure configuration sera celle qui donnera le rendement le plus grand. En régime stationnaire, où la variation de la température est inférieure à  $0.5^\circ\text{C}/\text{min}$ , l'analyse des échanges de chaleur du capteur solaire plan à air permet d'écrire le bilan énergétique sous la forme suivante :

Soit (Q) : le flux solaire utile rapporté à l'unité de surface en ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

$$Q = a \cdot G^* + b(T_{f_s} - T_e) + f(T_{f_s}, T_{\text{ciel}}, T_a) \quad \text{Où } f: \text{ est une fonction non linéaire de } (T_{f_s}, T_{\text{ciel}}, T_a).$$

Le rendement du capteur est alors défini comme le rapport du flux de chaleur disponible

$$(Q) \text{ au flux solaire global incident } (G^*): \text{ soit: } \eta = \frac{Q}{G^*} = a + b \cdot \frac{(T_{\text{sor}} - T_a)}{G^*} + \frac{1}{G^*} \cdot f(T_{\text{sor}}, T_{\text{ciel}}, T_a)$$

En régime stationnaire, on caractérise les conditions de fonctionnement du capteur par la valeur du paramètre réduit  $x = \frac{T_{\text{sor}} - T_a}{G^*}$  et on écrit alors le rendement du capteur en fonction de (x),

en négligeant les termes non linéaires sous la forme :  $\eta = a + b \cdot x$

D'autre part, l'analyse théorique nous permet d'écrire le rendement sous la forme

$$\eta = F' \left[ \tau \cdot \alpha - U_l \cdot \frac{T_i - T_a}{G^*} \right] \quad \text{Avec} \quad T_i = \frac{T_s + T_a}{2}$$

Qui peut être représentée par une droite dont la pente est ( $U_l$ ).

Les calculs des pertes thermiques nous a permis la détermination du coefficient de déperdition total ( $U_1$ ) du capteur ainsi que le coefficient ( $F'$ ). Ce dernier qui est proche de 1,

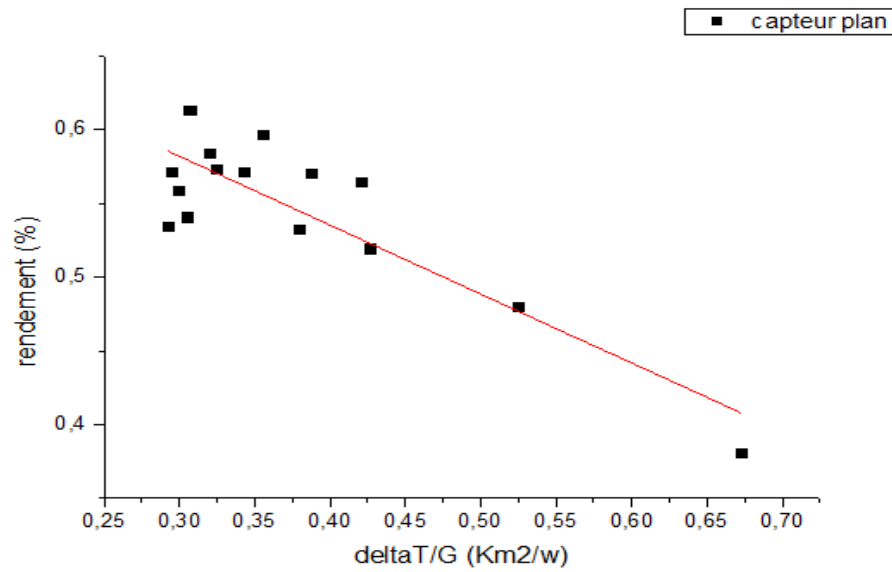
En effet la connaissance de ( $U_1$ ) et ( $F'$ ), nous permet d'écrire :

$$\text{Pour } x = 0 \quad \eta = F' \cdot \tau \cdot \alpha$$

C'est à dire que le rendement du capteur est maximal lorsque la température de l'air est égale à la température d'entrée.

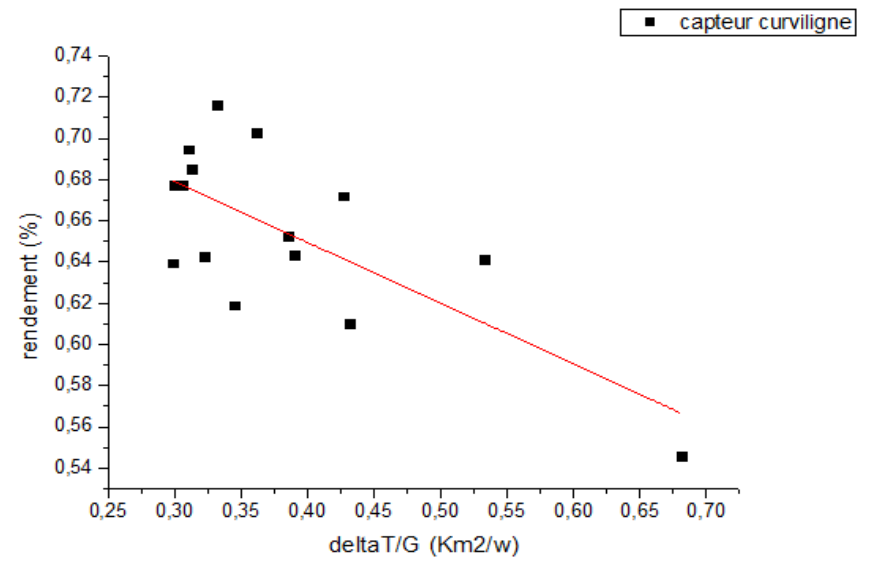
$$\text{Pour } \eta = 0 \quad \frac{\Delta T}{G^*} = \frac{\tau \cdot \alpha}{U_1}$$

C'est à dire que le rendement s'annule pour une valeur du flux solaire égal au flux seuil à partir duquel le rendement sera négatif et dans ce cas le capteur chauffe l'extérieur. La connaissance de ces deux coordonnées, nous permet la représentation des abaques donnant le rendement en fonction de ( $x$ ) pour différents débits.



**Fig. V.21.** Variation de rendement en fonction du  $\Delta T/G$ .

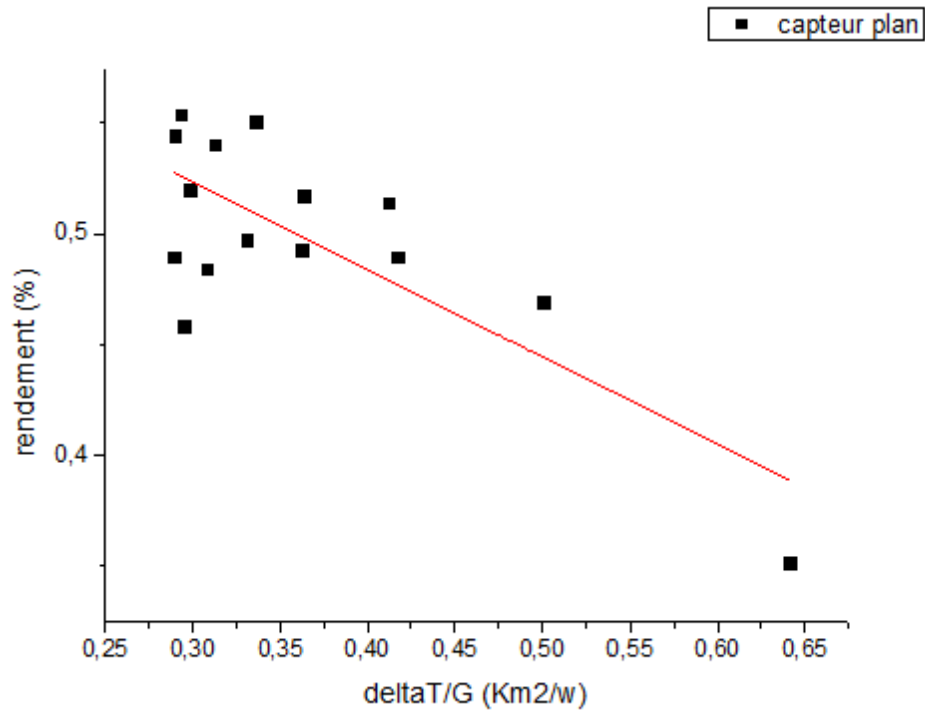
Jours : 27/02/2017 ciel clair+vent, Débit=0,02528916 (kg/s).



**Fig. V.22.** Variation de rendement en fonction du  $\Delta T/G$ .

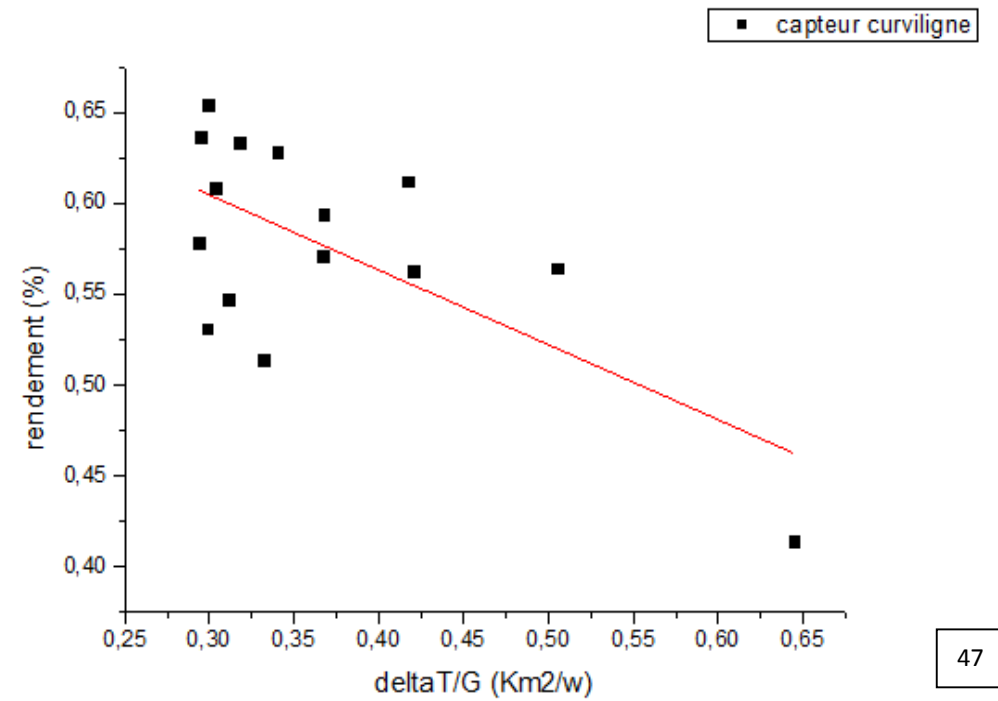
Jours : 27/02/2017 ciel clair+vent, Débit=0,02528916 (kg/s).





**Fig. V.23.**Variation de rendement en fonction du  $\Delta T/G$ .

Jours : 12/03/2017 ciel clair+vent, Débit=0,02320812 (kg/s).



**Fig. V.24.**Variation de rendement en fonction du  $\Delta T/G$ .

Jours : 12/03/2017 ciel clair+vent, Débit=0,02320812 (kg/s).

• Débit variable :

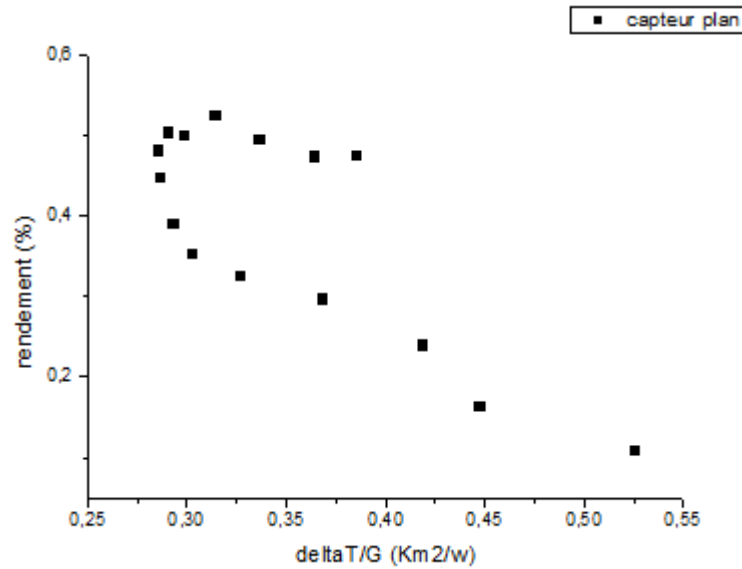


Fig. V.25.Variation de rendement en fonction du  $\Delta T/G$ .

Jours : 10/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017676776 (kg/s).

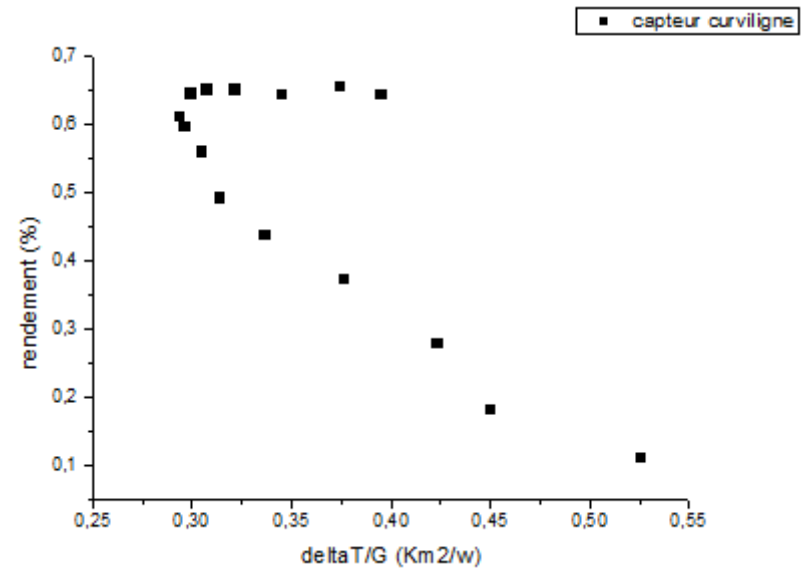
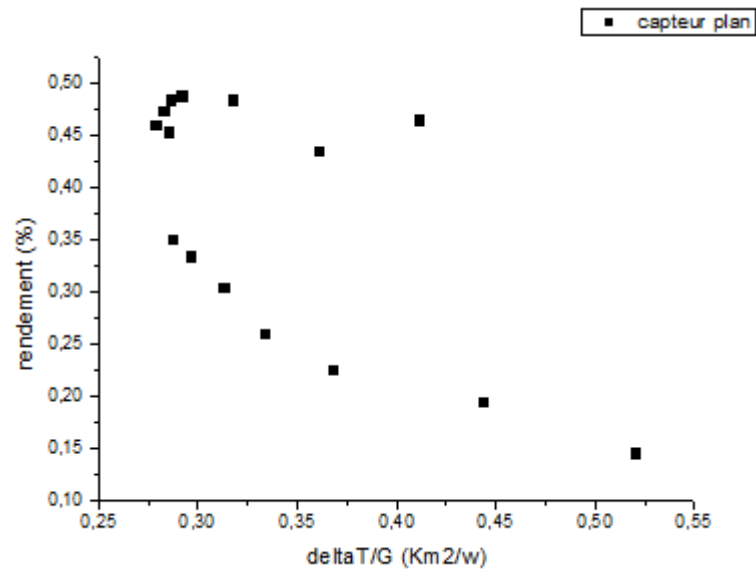


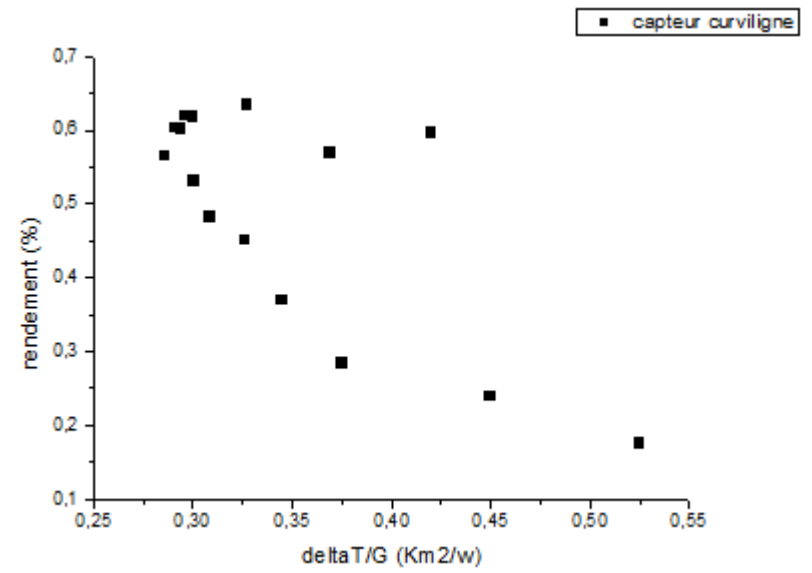
Fig. V.26.Variation de rendement en fonction du  $\Delta T/G$ .

Jours : 10/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017676776 (kg/s).



**Fig. V.27.**Variation de rendement en fonction du  $\Delta T/G$ .

Jours : 12/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017999488 (kg/s).



**Fig. V.28.**Variation de rendement en fonction du  $\Delta T/G$ .

Jours : 12/04/2017 ciel clair, Débit variable=0,017999488 (kg/s).

Ces courbes nous permettent de calculer les facteurs  $F'$ ,  $U_1$  avec  $\tau\alpha = 0.9 \times 0.9 = 0.81$

Tel que pour un capteur plan :

$$\Delta T/G=0 \quad \eta=0.6 \quad F' = 0.74$$

$$\eta=0 \quad \Delta T/G = 0.8 \quad U_1 = 1.01$$

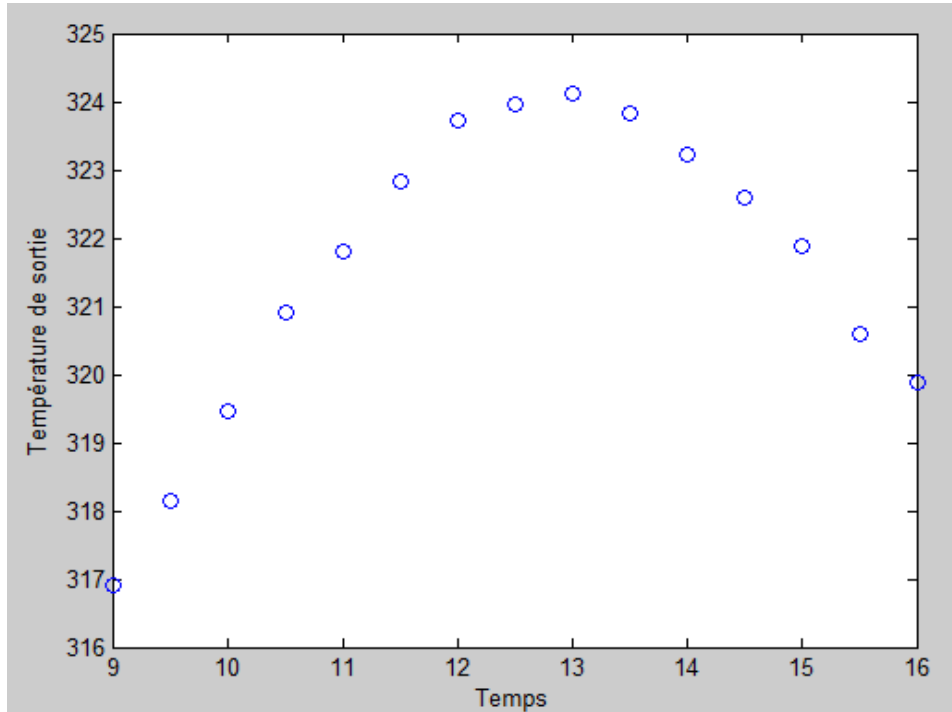
Et pour un capteur curviligne :

$$\Delta T/G=0 \quad \eta= 0.67 \quad F' = 0.827$$

$$\eta=0 \quad \Delta T/G = 0.8 \quad U_1 = 1.012$$

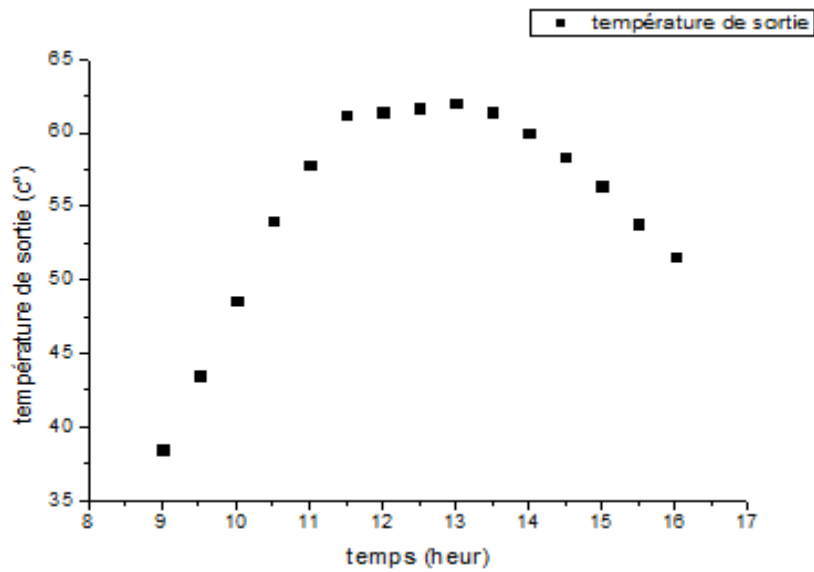
## V.7 Simulation de la température de sortie :

Les figures suivantes représentent la variation théorique en fonction du temps de la température de sortie de l'air d'un capteur solaire plan à air. Cette variation est donnée grâce à l'élaboration d'un programme établi en Matlab. Les données sont celles d'un jour type pour lequel nous avons la variation expérimentale. IL est clair de voir que le profil est le même sauf que l'écart est important. Ceci est dû en grande partie à la valeur de l'absorbeur qui est prise arbitraire car elle n'a pas été mesurée.



**Figure. V.29.** Variation de température de sortie théorique en fonction du temps.

Jours : 16/04/2017 ciel clair, Débit=0,02153424 (kg/s).



**Figure. V.30.** Variation de température de sortie pratique en fonction du temps.

Jours : 16/04/2017 ciel clair, Débit=0,02153424 (kg/s).

Il est à remarquer que les profils de la température expérimentale et celle théorique sont les même. L'écart enregistré est du aux hypothèses considérées.

### **Conclusion :**

L'analyse des courbes qui traduisent la variation des performances des deux types de capteurs solaires en fonction de divers paramètres climatiques et conceptuels montrent que le capteur solaire curviligne est meilleur.

## CONCLUSION GENERALE

Les performances des systèmes solaires sont très sensibles à divers paramètres entre autres la géométrie de la veine d'écoulement. Cette forme a une double influence, sur le rayonnement solaire incident variable au cours de la journée et puis il a une influence sur la qualité du transfert thermique entre les différents constituants du système. Dans ce projet on s'est intéressé à d'étudier expérimentalement l'effet de la géométrie sur les performances de deux types de capteurs solaires de forme curviligne et plane.

Ces essais consistent donc aux mesures des paramètres climatiques et les paramètres permettant de calculer les performances des deux systèmes (températures d'entrée et de sortie du fluide caloporteur). Ceci est fait pour divers valeurs du débit. A l'issue de cette étude concernant l'évaluation des performances des deux insolateurs nous avons calculés pour les essais effectués quelques paramètres tels que le rendement, le coefficient de pertes thermique (UI) et celui de l'efficacité de l'absorbeur (F').

Les résultats obtenus à travers les courbes données montrent que le rendement augmente avec le débit jusqu'à une valeur précise ensuite et au delà de cette valeur le rendement reste constant quelque soit le débit du fluide caloporteur et que l'allure de la variation est conservé malgré les conditions des mesures variées. En effet pour les différents jours des tests on n'a pas les mêmes conditions tels que le rayonnement solaire, la température ambiante, la vitesse du vent et la fraction d'insolation. C'est une période où ces paramètres changent d'un jour à l'autre.

A conclure enfin le rendement est supérieur pour un capteur solaire curviligne. En première explication on peut lier cette amélioration à la forme curviligne du canal d'écoulement qui favorise le brassage du fluide caloporteur de la paroi chaude.

---

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **K. Aoues, N. Moumni, M. Zellouf, A. Moumni, A. Labed, E. Achouri et A. Benchabane.** "Amélioration des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air: Etude expérimentale dans la région de Biskra". *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 12 N°2 (2009) 237 – 248.
- [2] **K. Aoues, N. Moumni, A. Moumni, M. Zellouf, A. Labed et E. Achouri.** "Etude de l'influence des rugosités artificielles sur les performances thermiques des capteurs solaires plans à air". *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 11 N°2 (2008) 219 – 227.
- [3] **A. Labed, N. Moumni, K. Aouès, M. Zellouf et A. Moumni.** "Etude théorique et expérimentale des performances d'un capteur solaire plan à air muni d'une nouvelle forme de rugosité artificielle". *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 12 N°4 (2009) 551 – 561.
- [4] **H.Karoua,** "Etude des performances thermiques d'un capteur solaire avec effet de concentration de type Fresnel". Thèse de Magister. Université de Boumerdes.
- [5] **T. Letz, M. Lallemand.** "Etude théorique et expérimentale d'un capteur solaire plan à air en régime dynamique". *Revue de Physique Appliquée*.21 (1986) 727-734.
- [6] **H.Menacer.** "Etude expérimentale des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air". Thèse de Master. Université de Biskra, 2012.
- [7] **N.Moumni, S.Youcef-Ali, A.Moumni, J.Y.Desmons.** "Energy analysis of a solar air collector with rows of fins". *Renewable Energy* 29 (2004) 2053-2064.
- [8] **Gao W, Lin W, Liu T, Xia C.** "Analytical and experimental studies on the thermal performance of cross-corrugated and flat-plate solar air heaters". *Applied Energy* 2007; 84(4):425–41.
- [9] **H.Abdi et N.Messaoudene.Ait.** "Etude expérimentale et théorique des performances de deux capteurs plans à contact direct eau–plaque d'absorption". *Revue des Energies Renouvelables. Chemss*, 2000, p 53-60.

- [10] **Hegazy A.** "Effect of dust accumulation on solar transmittance through glass covers of plate-type collectors". *Renewable Energy* 2001; 22(4):525–40.
- [11] **F. Menasria**, "Modélisation des échanges par convection dans un canal rectangulaire munis d'ailettes". Thèse de Magister. Université de Biskra. (2009).
- [12] **M.T.Baissi**, "Etude théorique et expérimentale des paramètres de fonctionnement d'un capteur solaire plan". Thèse de Magister. Université de Biskra. (2012).
- [13] **C.Mahboub**. "Etude des phénomènes de transfert thermique dans les échangeurs de la chaleur destinés aux applications solaires". Thèse de Doctorat. Université de Biskra. 2016.
- [15] **A.Brahimi**, "Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau". Thèse de Master. Université De Lorraine. 2016.
- [16] **A.Mustapha**, "Contribution à l'étude d'un capteur solaire thermodynamique thermosiphon à eau et application aux sites de TIARET et ADRAR". Thèse de Magister. Université de Tlemcen.
- [17] **M.Baissi, O.Kaddour**, "Etude théorique et expérimentale en fonction du gisement solaire local d'une installation solaire thermique". Thèse de Magister. Université de Biskra. 2009.
- [18] **A.Mohammed Amine**, "Etude numérique d'un capteur solaire plan à air Influence de la forme de la rugosité". Thèse de Magister. 2012.
- [19] **www.ines-solaire.com**.
- [20] **N.Hatraf**, "Etude systématique et optimisation des performances d'une chaîne énergétique utilisant un capteur solaire à air et un échangeur enterré pour le chauffage solaire rafraîchissement par la géothermie". Thèse de Doctorat. Université de Biskra. 2014.



## **Résumé :**

Le présent travail représente une étude théorique et expérimentale de deux types de capteurs solaires à air plan et curviligne qui ont les mêmes constituants caractérisés par les mêmes propriétés thermo-physiques. L'objectif principal de notre étude est de comparer les performances de ces deux types des capteurs. Pour mener à terme ce travail nous avons effectué cette comparaison dans des conditions météorologiques variées. Il s'avère que le capteur solaire curviligne présente les meilleures performances.

## **Mots clé :**

capteur solaire, air, plan, curviligne, performance thermique, rendement.

## **Abstract:**

The present work represents a theoretical and experimental study of two types of planar and curvilinear solar collectors which have the same constituents characterized by the same thermo-physical properties. The main objective of our study is to compare the performances of these two types of sensors. In order to carry out this work we have carried out this comparison in varied weather conditions. It turns out that the curvilinear solar collector has the best performance.

## **Keywords:**

Solar collector, air, plan, curvilinear, thermal performance, efficiency.

## **ملخص :**

يمثل هذا العمل دراسة نظرية وتجريبية لنوعين من اللواقط الشمسية الهوائية المسطحة و المنحنية الذين يتشاركان نفس الخصائص ونفس المكونات ولكن يختلفان في الشكل الهندسي. الهدف الرئيسي من دراستنا هو مقارنة أداء هذين اللاقطين، لانجاز هذا العمل قمنا بهذه المقارنة في ظروف مناخية مختلفة، حيث اتضح أن اللاقط الشمسي الهوائي ذو السطح المنحني لديه أفضل أداء من ذي السطح المستوي.

## **كلمات البحث :**

لاقط شمسي، هواء، مستوي، منحني، الأداء الحراري، الكفاءة الحرارية.