

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la  
Recherche Scientifique**



**Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Energies renouvelables

Spécialité : Energies renouvelables en mécanique

**Thème**

**L'amélioration du rendement thermique des capteurs  
solaires plans à air dans la région du sud Algérien**

Devant le jury composé de :

Dr. ATIA ABD ELMALEK	Président
Dr. ZINE ALI	Examineur
Dr. MEZIAN ASSIA	Examineur
Dr. NADIR NADIA	Encadreur
Dr. AOUN YACINE	Co-Encadreur

Présenté par :

- LABBI ALI
- GHEMIMA RACHAD
- GHEMIMA YAHYA
- SLIMANI SALIM

**2021-2022**

# Remerciement

*Remerciements à Dieu - le tout puissant - qui nous a aidé à réaliser ce modeste travail.*

*Nous remercions particulièrement notre promoteur*

*Mr. AOUN YACINE et M. NADIR NADIA , pour son dévouement exceptionnel, sa précieuse directive et son suivi constant.*

*Nos remerciements vont aussi au président du jury et aux membres du jury examinateurs qui nous fait l'honneur de participer au jury de ce travail.*

*Et enfin nous remercions l'ensemble, enseignants et collègues de notre promotion, qui nous ont aidé à réaliser ce modeste*

*L.ALI*

*G.RACHAD*

*G.YAHYA*

*S.SALIM*

# *Dédicace*

*Nous consacrons ce modeste travail à:*

*Nos chers parents*

*Nos sœurs et nos frères*

*A toute la famille : LABBI*

*A toute la famille : GHEMIMA*

*A toute la famille : SLIMANI*

*Tous nos amis*

*A tous mes camarades de la promotion 2021/2022 pour les*

*bons moments passés ensemble.*

*Tous les enseignants qui m'ont aidé*

*de proche ou de loin.*

## Résumé:

Un des problèmes essentiels de l'utilisation de l'énergie solaire est les faibles échanges thermiques entre le fluide caloporteur et l'absorbeur du capteur solaire. Par contre, l'introduction de chicanes (obstacles) disposées en rangées dans les conduits de ces systèmes améliore nettement les transferts thermiques. Dans cette étude, nous intéressons à la réalisation et l'expérimentation d'un capteur solaire plan à air fonctionnant en convection naturel. Nous présentons une série de test expérimental menés sur trois prototypes du capteur solaire plan à air de surface de captation de  $0.5 \text{ m}^2$ , conçu au laboratoire et expérimenté dans la région d'El-Oued. Afin d'optimiser les performances thermiques en utilisant les chicanes sous la forme rectangulaire attachées sur l'absorbeur de capteurs, deux cas ont été considérés chicanes parallèles et chicanes transversal. Dans cette étude ont comparaison les rendements thermiques de capteur avec chicanes et d'un autre capteur identique dans la fabrication sans chicanes (témoin).

**Mots clés:** Capteur solaire, Rendement, Chicanes parallèles, Chicanes transversal.

## Abstract:

One key problem of using solar energy is low heat exchange between the coolant and absorber of the solar collector. By cons, the introduction of baffle (obstacles) arranged in rows in the ducts of these systems greatly improves heat transfer.

In this study, we are interested in the realization and the experimentation of a flat air solar collector operating in natural convection. We present a series of experimental tests carried out on three prototypes of the  $0.5 \text{ m}^2$  collection surface flat air solar collector, designed in the laboratory and tested in the region of El-Oued. In order to optimize the thermal performances by using baffles in the rectangular shape attached to the collector absorber, two cases have been considered: parallel baffles and transverse baffles. In this study, we compared the thermal efficiencies of a collector with baffles and another identical collector in the manufacture without baffles (control).

**Keywords:** Solar collector, Efficiency, Parallel baffles, Transverse baffles.

واحدة من المشاكل الرئيسية في استخدام الطاقة الشمسية هو التبادل الحراري المنخفض بين مائع نقل الحرارة وماص المجمع الشمسي. من ناحية أخرى، فإن إدخال الحواجز (العوائق) المرتبة في صفوف في مجاري هذه الأنظمة يحسن بشكل كبير نقل الحرارة. في هذه الدراسة، نحن مهتمون بانجاز وتجريب مجمع شمسي مسطح للهواء يعمل بالحمل الحراري الطبيعي. نقدم سلسلة من الاختبارات التجريبية التي تم إجراؤها على ثلاثة نماذج أولية لمجمع الطاقة الشمسية المسطحة التي تبلغ مساحتها 0.5 م<sup>2</sup>، والتي تم تصميمها في المختبر واختبارها في منطقة مدينة الوادي. من أجل تحسين الأداء الحراري باستخدام حواجز على شكل مستطيل متصل بماص المجمع، تم النظر في حالتين: حواجز متوازية وحواجز متقاطعة. في هذه الدراسة، قمنا بمقارنة الكفاءات الحرارية للمجمع مع الحواجز ومجمع آخر مماثل في التصنيع بدون حواجز (تحكم).

**الكلمات الرئيسية:** مجمع الطاقة الشمسية، الكفاءة، الحواجز المتوازية، الحواجز المتقاطعة.

## Table des matières

Remerciement .....	i
Dédicace .....	ii
Résumé: .....	iii
Table des matières .....	v
Nomenclatures .....	viii
Liste des figures .....	x
Liste des Photos .....	xiii
Liste des Tableau .....	xiv
Introduction générale .....	1
<b>CHAPITRE I: Gisement solaire sur la région d'El-Oued</b>	
I.1.Introduction : .....	4
I.2.Notions sur gisement solaire: .....	4
I.2.1.Le soleil : .....	4
I.2.2. L'énergie solaire: .....	5
I.2.2.a. Origine: .....	5
I.2.2.b. Caractères particuliers: .....	5
I.2.2.c. Captation: .....	5
• L'énergie solaire thermique: .....	5
• L'énergie solaire thermodynamique: .....	6
• L'énergie solaire photovoltaïque: .....	6
I.2.3. Le rayonnement solaire: .....	6
I.2.3.1. Le rayonnement solaire direct : .....	7
I.2.3.2. Le rayonnement solaire diffus: .....	8
I.2.3.3. Le rayonnement global: .....	8
I.2.4. Le gisement solaire en Algérie: .....	9
I.3. situation climatique : .....	10
I.3.1.Signification du site d'El-Oued: .....	11
I.3.2.Le Climat: .....	11
I.3.3.Température: .....	12
I.3.4.Pluviométrie: .....	12
I.3.5.Humidité: .....	13
I.3.6.Les vents: .....	14
I.3.7.Durée d'insolation: .....	14
I.4.Conclution: .....	15

## **ChapitreII: Capteur solaire**

II.1.Introduction :	16
II.2.Principe de Fonctionnement d'un capteur solaire:	16
II.3.Principaux composants des capteurs solaires :	17
II.3.1. Couverture transparente:	18
II.3.2.Absorbeur:	18
II.3.3.Isolation arrière:	18
II.3.4.Coffre ou la cadre:	18
II.4.Les différents types de capteurs solaires:	18
II.4.1.Capteurs plans:	19
II.4.2. Capteurs par concentration:	19
II.5.Paramètres et caractéristiques de fonctionnement des capteurs solaires:	20
II.5.1.Paramètres externes :	20
II.5.2. Paramètres internes:	20
II.5.3. Paramètres de fonctionnement:	21
II.6.Transferts de chaleur:	21
II.6.1. Conduction:	21
II.6.2. Convection:	21
II.6.2. 1.Convection forcée	21
II.6.2. 2. Convection naturelle.	21
II.6.3. Le rayonnement:	22
II.7. Quelques études réalisées sur les capteurs solaires:	22
II.8. Bilan d'énergie dans capteur solaire.	22
II.8.1.Bilan d'énergie :	30
II.9.Rendements d'un capteur solaire:	31
II.9.1. Rendement instantané:	31
II.9.2.Le rendement journalier :	31
II.10.Conclusion :	31

## **ChapitreIII: Étude Expérimental**

III.1. Introduction:	32
III.2. Conception et réalisation du capteur plan à air:	32
III.2.1. Composants du capteur acheté:	32
III.2.2.Dimensions du capteur plan à air:	34
III.2.3.Isolation thermique du capteur plan à air:	36
III.2.4.Découpages des plaques couvertures et absorbantes du capteur plan à air:	36
III.2.5.Le chicane:	38
III.2.6.Thermomètre:	41

III.2.6.1. Dispositif de contrôleur de température intelligent mod REX-C400: .....	42
III.3. Appareillages de mesures: .....	46
III.3.1. Mesure de la température: .....	46
III.3.2. Mesure de la vitesse de l'air : .....	47
III.3.3. Mesure du rayonnement solaire: .....	49
III.4. Résultats et interprétations : .....	50
III.4.1. Effet du rayonnement sur la température : .....	50
III.4.2. Effet de la température de l'absorbeur sur la température d'entrée et de sortie: .....	51
III.4.3. La variation de la température de sortie : .....	53
III.4.4. La variation de la vitesse de l'air : .....	56
III.4.5. Efficacité thermique des capteurs solaires : .....	57
III.5. Conclusion : .....	59
Conclusion générale .....	60
Références Bibliographiques .....	61

## *Nomenclatures*

$T_m$	Températures moyennes	°C
$P_m$	Précipitation moyennes	mm
$H_m$	Humidité moyennes	%
$V_m$	Vitesse moyennes	v/m
Insola	Valeur moyennes d'insolation	h
<i>Surf</i>	Surface de l'insolateur	m <sup>2</sup>
$C_p$	Capacité calorifique massique du fluide caloporteur	J / kg.K
$C_{pv}$	Capacité calorifique massique de la vitre	J / kg.K.
$C_{pn}$	Capacité calorifique massique de l'absorbeur	J / kg.K
$C_{pi}$	Capacité calorifique massique de l'isolant	J/kg.K
$h_{vv}$	Coefficient d'échange thermique entre la vitre et l'air ambiant et éventuellement entre l'isolant et l'air ambiant (dû au vent)	W / m <sup>2</sup> K
$h_{van}$	Coefficient d'échange thermique par convection entre le fluide et l'absorbeur	W /m <sup>2</sup> K
$h_{vai}$	Coefficient d'échange thermique par convection entre le fluide et l'isolant	W/ m <sup>2</sup> K
$h_{cv}$	Coefficient d'échange thermique par conduction dans la vitre	W/ m <sup>2</sup> K
$h_{vvn}$	Coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre et l'absorbeur	W /m <sup>2</sup> K
$h_{ci}$	Coefficient d'échange thermique par conduction dans l'isolant	W/ m <sup>2</sup> K
$h_{rvc}$	Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre la vitre et le ciel	W /m <sup>2</sup> K
$h_{rvn}$	Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre la vitre et l'absorbeur	W/ m <sup>2</sup> K
$h_{ris}$	Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre l'isolant et le sol	W /m <sup>2</sup> K
$Q$	Débit massique du fluide	kg /s
$M_v$	Moitié de la masse de la vitre pour la section de longueur $\Delta x$	kg

$M_i$	Moitié de la masse de l'isolant pour la section de longueur $\Delta x$	kg
$M_n$	Masse de l'absorbeur pour la section de longueur $\Delta x$	kg
$P_v$	Puissance absorbée par 1 m <sup>2</sup> de vitre	W / m <sup>2</sup>
$P_{nv}$	Puissance captée par 1 m <sup>2</sup> de l'absorbeur	W / m <sup>2</sup>
$T$	Température du fluide caloporteur (l'air)	K
$T_a$	Température ambiante	K
$T_c$	Température de la voûte céleste	K
$T_{ve}$	Température de la face extérieure de la vitre	K
$T_{vi}$	Température de la face intérieure de la vitre	K
$T_n$	Température de l'absorbeur	K
$T_{ii}$	Température de la face extérieure de l'isolant	K
$T_{ie}$	Température de la face intérieure de l'isolant	K

## Liste des figures

### CHAPITRE I: Gisement solaire sur la région d'El-Oued

<b>Figure I.1</b> : La distance terre-soleil .....	7
<b>Figure I.2</b> : Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel.....	9
<b>Figure I.3</b> : Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu.....	10
<b>Figure I.4</b> : Répartition territoriale des stations météorologiques en A .....	10
<b>Figure I.5</b> : Superfétation du site d'El-Oued .....	11
<b>Figure I.6</b> : Températures moyennes mensuelles dans la région d'El-Oued (1991-2020) .....	12
<b>Figure I.7</b> : Précipitation moyennes mensuelles dans la région d'El-Oued (1991-2020).....	13
<b>Figure I.8</b> : Humidité moyennes mensuelles dans la région d'El-Oued (1991-2020).....	13
<b>Figure I.9</b> : Vitesse moyennes mensuelles des vents (m/s) dans la région d'El-Oued (1991-2020).....	14
<b>Figure I.10</b> : Valeur moyennes d'insolation (h) mensuelles des dans la région d'El-Oued (2004-2020).....	15

### CHAPITRE II: Capteur solaire

<b>Figure II.1</b> : Schématisation de principe de captation du rayonnement solaire.....	16
<b>Figure II.2</b> : Capteur plan vitré .....	17
<b>Figure II.3</b> : Différents échanges thermiques dans un capteur plan.....	21
<b>Figure II.4</b> : Disposition des obstacles OCL. ....	23
<b>Figure II.5</b> : Disposition des obstacles DCL .....	23
<b>Figure II.6</b> : Conception des capteurs à aérogel de silice.....	23
<b>Figure II.7</b> : Configuration 1. ....	24

<b>Figure II.8 :</b> Configuration 2 .....	24
<b>Figure II.9 :</b> Configuration 3 .....	25
<b>Figure II.10 :</b> Dispositif expérimental.....	25
<b>Figure II.11 :</b> Schéma descriptif des chicanes .....	26
<b>Figure II.12 :</b> Capteur plan à air muni de rugosités cylindriques .....	26
<b>Figure II.13 :</b> Les différents arrangements des chicanes cylindriques.....	27
<b>Figure II.14 :</b> Schéma du modèle expérimental.....	27
<b>Figure II.15:</b> Représentation schématique des transferts thermiques dans le cas du Capteur solaire.....	28
<b>Figure II.16 :</b> Schéma électrique équivalent au transfert de chaleur dans une tranche du capteur solaire .....	29

### **CHAPITRE III: Étude Expérimental**

<b>Figure III.1 :</b> Dimensions base du capteur plan à air .....	35
<b>Figure III.2 :</b> Dimensions du capteur plan à air.....	35
<b>Figure III.3 :</b> Dimensions de chicanes parallèles .....	39
<b>Figure III.4 :</b> Dimensions des chicanes croisée .....	40
<b>Figure III.5 :</b> Dimensions Dispositif de contrôleur de température intelligent mode REX-C400 .....	42
<b>Figure III.6 :</b> Les composants de dispositif de contrôleur de température intelligent mode REX-C400.....	43
<b>Figure III.7 :</b> Variation de la température de l'air ambiant, et du rayonnement solaire en fonction du temps. ....	50
<b>Figure III.8.a :</b> Variation de la température de l'air d'entrée, et de sortie de capteur solaire et de la température de l'absorbeur en fonction du temps .....	52

<b>Figure III.8.b</b> : Variation de la température de l'air d'entrée, et de sortie de capteur solaire et de la température de l'absorbeur en fonction du temps .....	52
<b>Figure III.8.c</b> : Variation de la température de l'air d'entrée, et de sortie de capteur solaire et de la température de l'absorbeur en fonction du temps .....	52
<b>Figure III.9</b> : Variation de la température de sortie de capteur solaire avec le temps .....	54
<b>Figure III.10</b> : La variation de la différence de température entre la température de sortie et la température d'entrée pour les trois capteurs.....	55
<b>Figure III.11</b> : Variation de la vitesse ambiante, à l'entrée et à la sortie pour les trois capteurs en fonction du temps. ....	56
<b>Figure III.12</b> : Variation de l'efficacité thermique avec le temps et le rayonnement solaire de tous les capteurs .....	58

## Liste des Photos

### CHAPITRE I: Gisement solaire sur la région d'El-Oued

### CHAPITRE II: Étude Expérimental

<b>Photo II.1</b> : Capteur solaire plan à air .....	19
<b>Photo II.2</b> : Capteur solaire concentration parabolique.....	20

### CHAPITRE III: Étude Expérimental

<b>Photo III.1</b> : Groupe du capteur .....	32
<b>Photo III.2</b> : Le coffre du capteur .....	35
<b>Photo III.3</b> : Laine de verre .....	36
<b>Photo III.4</b> : Plaque de verre.....	37
<b>Photo III.5</b> : Plaque d'aluminium .....	37
<b>Photo III.6</b> : Absorbeur en Aluminium .....	38
<b>Photo III.7</b> : Peignons de l'absorbeur .....	38
<b>Photo III.8</b> : Capteur solaire avec chicane parallèles .....	39
<b>Photo III.9</b> : Capteur solaire avec chicane croisée .....	40
<b>Photo III.10</b> : Thermocouple .....	41
<b>Photo III.11</b> : Armoire de mesure de température .....	41
<b>Photo III.12</b> : Dispositif de contrôleur de température intelligent mode REX-C400.....	42
<b>Photo III.13</b> : Connecter les capteurs à l'armoire de mesure de température .....	44
<b>Photo III.14</b> : Dispositif de contrôleur de température intelligent mode REX-C400 et bouton interrupteur .....	44
<b>Photo III.15</b> : Mettre la silicone sur tous les côtés .....	45
<b>Photo III.16</b> : Les capteurs solaires .....	45
<b>Photo III.17</b> : Les capteurs solaires et l'armoire de mesure de température et le support .....	46
<b>Photo III.18</b> : Emplacement des thermocouples .....	46
<b>Photo III.19</b> : Thermomètre Dwyer .....	47
<b>Photo III.20</b> : Mesure des températures à partir d'armoire .....	47
<b>Photo III.21</b> : Armoire Anémomètre Kestrel 1000.....	48
<b>Photo III.22</b> : Mesure de la vitesse ambiante à partir d'un anémomètre .....	48
<b>Photo III.23</b> : Mesure de la vitesse de l'air à l'entrée du capteur à partir d'un anémomètre... ..	49
<b>Photo III.24</b> : Polarimètre PYR1307.....	49

## Liste des Tableau

### CHAPITRE I. Gisement solaire sur la région d'El-Oued

<b>Tableau I.1</b> : Valeurs des coefficients du trouble atmosphérique.....	8
<b>Tableau I.2</b> : Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques .....	9
<b>Tableau I.3</b> : coordonnées géographiques .....	11
<b>Tableau I.4</b> : Températures moyennes mensuelles (°C) (1991-2020) .....	12
<b>Tableau I.5</b> : Précipitation moyennes mensuelles (mm) (1991-2020).....	12
<b>Tableau I.6</b> : Humidité moyennes mensuelles (%) (1991-2020).....	13
<b>Tableau I.7</b> : Vitesse moyennes mensuelles des vents (m/s) (1991-2020) .....	14
<b>Tableau I.8</b> : Valeur moyennes d'insolation mensuelles (2004-2020).....	14

### CHAPITRE II: Étude Expérimental

<b>Tableau II.1:</b> Études concernant l'amélioration de rendement d'un capteur solaire plan à air..	22
--	----

### CHAPITRE III: Étude Expérimental

<b>Tableau III.1</b> : Composants du capteur.....	33
---	----

*Introduction  
générale*

## Introduction générale

Avec le développement qu'a connu le monde dans la période récente, la consommation d'énergie est devenue très importante pour accompagner le développement économique et les besoins en termes de confort et de consommation de la population. A l'heure actuelle, on se rend compte que l'exploitation excessive d'énergie non renouvelable peut conduire à son épuisement.

En effet, les ressources de la planète en sédiment fossile s'épuisent, le pétrole se raréfie et outre les conséquences économiques, force est de constater que soit il faut trouver des alternatives aux sources énergétiques actuelles, soit trouver une alternative a notre mode de civilisation même. Sans énergie, c'est tout notre quotidien qui disparaît [1]. Il est indispensable de s'orienter vers les énergies renouvelables et particulièrement l'énergie solaire. Cette dernière est une énergie inépuisable et propre et peut être utilisée de façon efficace dans de nombreux systèmes thermiques. Les applications ayant trait à l'utilisation de l'énergie solaire peuvent être classées en trois catégories principales : le chauffage et le refroidissement, la production de l'énergie électrique et les processus chimiques.

Depuis quelques années, le développement des systèmes thermiques à base de sources d'énergie renouvelable est en plein essor et fait l'objet de nombreux travaux et réalisations. Le cas particulier de capteurs solaires ne cesse de se développer, de s'améliorer et de devenir ainsi une part importante dans notre quotidien et de notre vie courante. Les capteurs solaires à air en constituent une catégorie très utile et ont apporté une réponse à la transformation énergétique destinée à des applications dans le domaine de la thermique [2].

Le capteur solaire plan à air, est une sorte d'échangeurs de chaleur qui transforment l'énergie solaire en chaleur. Habituellement, ils sont utilisés pour chauffer l'air dans le séchage des produits agricoles et comme réchauffeur d'air en combinaison avec des radiateurs auxiliaires pour la climatisation des bâtiments.

Les avantages des chauffe-air solaires sont qu'il n'y a pas de gel ou d'ébullition du fluide. Cependant, les inconvénients sont la faible densité, la faible capacité thermique et la faible conductivité thermique de l'air (Altfeld et Leiner, 1998).

Les capteurs solaires à air typiques se composent d'un boîtier qui contient une isolation arrière, un absorbeur et un couvercle transparent. Le couvercle transparent réduit les pertes de chaleur vers l'avant, tandis que l'air circule entre la plaque absorbante et l'isolation thermique [3].

Par conséquent, de nombreuses configurations de la plaque absorbante ont été conçues pour améliorer le transfert de chaleur pour le flux d'air dans le passage. Swartman et Ogunade (1966) [4] ont proposé de modifier la plaque plate absorbante simple pour une matrice solide, Choundhury et al. (1988) [5] ont proposé un absorbeur ondulé, Garg et al. (1991) [6] ont introduit la plaque absorbante avec des ailettes attachées, Parker et al. (1993) [7] ont proposé une plaque absorbante ondulée en V, Mohamad (1997) [8] a suggéré une plaque absorbante poreuse, et Kolb et al. (1999) [9] ont proposé une plaque absorbante à matrice métallique qui améliore les performances thermiques. Toutes les plaques absorbantes proposées traitent de nouveaux matériaux propres, impliquant des coûts élevés sur la production des plaques absorbantes très spéciales. Dans ce sens, plusieurs travaux ont été consacrés à l'étude des capteurs solaires plans et ayant surtout pour but l'amélioration de son rendement quotidienne.

Dans le cadre de ce travail, nous intéressons à la réalisation et l'expérimentation d'un capteur solaire plan à air fonctionnant en convection naturel. Nous présentons une série de test expérimental menés sur trois prototypes du capteur solaire plan à air de surface de captation de  $0.5 \text{ m}^2$ , conçu au laboratoire et expérimenté dans la région d'El-oued. Afin d'optimiser les performances thermiques en utilisant les chicane sous la forme rectangulaire perpendiculaires à l'écoulement attachées sur l'absorbeur de capteurs, deux cas ont été considérés chicane parallèles et chicane transversal. Dans cette étude ont comparaison les rendements thermiques de capteur avec chicane et d'un autre capteur identique dans la fabrication sans chicane (témoin).

Le présent travail comporte trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à l'étude du gisement solaire avec quelques notions et définitions astronomiques, couramment utilisées dans tout domaine relatif au solaire et étudier la météo dans le sud de l'Algérie (El-Oued), où nous allons expérimenter.

- Le deuxième chapitre est consacré à l'étude théorique du capteur solaire plan, ses différents composants, ses classifications, son fonctionnement et les différents échanges thermiques mis en jeu au sein du capteur

- Dans le troisième chapitre, ont l'étude de la conception de notre capteur solaire et de sa réalisation, présente les principaux instruments de mesure utilisés au cours des essais sur le capteur réalisé, et concrète les différentes expériences montées avec le capteur dans différentes journées comme étant des essais.

Enfin, nous terminons ce travail avec une conclusion générale.

# *Chapitre I*

## *Gisement solaire sur la région d'El-Oued*

## **I.1.Introduction :**

L'énergie solaire est la source des cycles biologiques et climatiques, ainsi que des ressources énergétiques fossiles comme le charbon, le pétrole et le gaz, ainsi que des ressources énergétiques renouvelables comme la biomasse, l'énergie hydraulique et le vent.

Ainsi, elle est indirectement exploitée depuis de nombreux millénaires pour nourrir et chauffer les êtres vivants.

L'utilisation généralisée de combustibles et de sources d'énergie à base d'hydrocarbures au cours du XXe siècle a entraîné des émissions à grande échelle de dioxyde de carbone et d'autres gaz à effet de serre.

Les faits recueillis jusqu'à présent montrent clairement que le changement climatique induit par l'activité humaine en est encore à ses débuts et que si nous voulons atténuer les terribles conséquences qui pourraient résulter d'un changement climatique important, nous devons agir maintenant. Les émissions issues de la combustion des hydrocarbures devront être drastiquement réduites. Cela peut être accompli de l'une des deux manières suivantes :

- restructuration majeure pour créer une société considérablement moins énergivore ;
- restructuration majeure pour créer une société qui utilise l'énergie de manière efficace mais intensive et qui obtient une quantité considérable d'énergie à partir de sources renouvelables et alternatives.

L'utilisation de l'énergie solaire a gagné en popularité au fil des ans, lui permettant d'atteindre une partie importante de l'économie aujourd'hui. D'un point de vue économique et environnemental, cela a un impact énorme.

## **I.2.Notions sur gisement solaire:**

Le champ solaire représente l'énergie fournie sous forme de rayonnement, le soleil est le moteur de toutes les ressources naturelles majeures.

### **I.2.1.Le soleil :**

Le soleil est la seule étoile du système solaire et l'étoile la plus proche de la Terre, et il faut environ 8 minutes pour que sa lumière nous parvienne. La prochaine étoile la plus proche est Proxima Centauri, à 4,23 années-lumière du Soleil, mais notre énorme distance par rapport à cette étoile signifie que le Soleil est la seule étoile sur Terre qui abrite la vie [10], [11].

Sur le plan humain, le soleil a une importance primordiale car c'est la vie sur terre, qui lui fournit une énergie énorme, qui rend l'existence L'eau liquide et la photosynthèse des plantes. Le rayonnement solaire est aussi Responsable des phénomènes climatiques et météorologiques [10].

## **I.2.2. L'énergie solaire:**

### **I.2.2.a. Origine:**

Les circonstances dans le noyau du soleil encouragent l'interaction des atomes d'hydrogène, ce qui entraîne une réaction de fusion thermonucléaire. Lorsque ce processus se répète, quatre noyaux d'hydrogène fusionnent pour former un noyau d'hélium, émettant de l'énergie sous forme de rayons gamma et X.

Chaque seconde, 564 millions de tonnes d'hydrogène sont converties en 560 millions de tonnes d'hélium ; Cette différence de 4 millions de tonnes par seconde correspond à la différence d'énergie de liaison entre les protons d'hydrogène et d'hélium, résultant en une énergie sous forme de rayonnement de  $3,7.1026 \text{ j/s}$  [12].

### **I.2.2.b. Caractères particuliers:**

L'énergie solaire est la seule source d'énergie externe de la terre, et elle a les caractéristiques suivantes [13] :

- Il est universel, avec une densité de puissance maximale de  $1 \text{ kW/m}^2$  à midi sur le monde entier lorsque le ciel est bleu.
- Parce que la densité de puissance la plus élevée reçue au niveau du sol ( $1 \text{ kW/m}^2$ ) est faible, une énergie diffuse est utilisée.
- C'est abondant; notre planète reçoit près de 104 fois la quantité d'énergie que l'humanité utilise.
- En raison du cycle jour-nuit, des différences saisonnières et quotidiennes d'ensoleillement, il est intermittent et variable.
- Du fait des pertes d'énergie dans les modes conductif, convectif et radiatif, l'énergie captée par une surface donnée ne peut être entièrement récupérée.
- Elle est propre.

### **I.2.2.c. Captation:**

Il existe différentes techniques pour capter une partie de cette énergie à savoir:

- **L'énergie solaire thermique:**

Le thermique solaire est un procédé de transformation de l'énergie solaire en une forme thermique, qu'on peut utiliser [12] :

- ❖ En usage direct de la chaleur : chauffe-eau solaire, chauffage solaire, cuisinière et séchoir solaire.
- ❖ En usage indirect où la chaleur sert pour un autre usage : centrales solaires thermodynamiques, froid solaire.

- **L'énergie solaire thermodynamique:**

La solaire thermodynamique utilise le solaire thermique pour produire de l'électricité selon le même principe qu'une centrale électrique classique mais en utilisant des centrales héliothermoélectriques [13], [14].

Trois types principaux de centrales sont utilisés [13]:

- ❖ Les centrales à capteurs cylindro-paraboliques pour atteindre des températures entre 300 et 350 °C.
- ❖ Les centrales à capteurs paraboliques pour atteindre des températures de 1000°C ou plus.
- ❖ Les centrales à tour pour atteindre 1000 °C.

- **L'énergie solaire photovoltaïque:**

Elle permet de produire de l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque.

Les photopiles utilisent l'effet photovoltaïque, elles sont formées d'une couche d'un matériau semi-conducteur et d'une jonction semi-conductrice. Le silicium est le plus employé ; cependant, l'arséniure de gallium offre des meilleures performances, mais reste beaucoup plus onéreux [13].

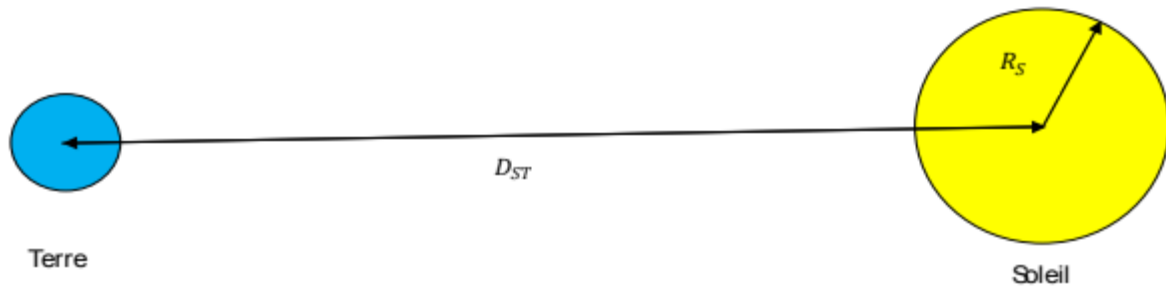
### **I.2.3. Le rayonnement solaire:**

Le rayonnement thermique est un rayonnement électromagnétique naturel émis dans toutes les directions par tout corps dont la température est supérieure à 0 degré Celsius. L'énergie du rayonnement est transportée par des photons qui se déplacent dans l'espace à la vitesse de la lumière. Chaque photon porte une énergie  $E = hv$ , où  $h = 6\,624,106 \cdot 10^{-34}$  J.s est connue sous le nom de constante de Planck.

La constante solaire est définie comme étant l'énergie totale reçue du soleil par l'atmosphère terrestre sur une surface de  $1\text{m}^2$  placée perpendiculairement aux rayonnements, en d'autres termes c'est la densité du flux énergétique, sa valeur moyenne est de  $1350\text{ W/m}^2$ , la constante solaire est indépendante des conditions météorologiques.

- Elle est définie par [15] :

$$I_{SC} = \sigma \cdot T^4 (R_s/D_{ST})$$



**Figure I.1:** La distance terre-soleil.

$D_{ST}$  : La distance terre-soleil (m).

$R_s$  : Le rayon du soleil (m).

$\sigma$  : La constante de Stéphane-Boltzmann :  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

T : Température à la surface du soleil (K).

Avant même que les rayons arrivent sur terre, ils rencontrent sur leur chemin plusieurs éléments qui conditionnent et atténuent leur intensité, cette dernière est aussi tributaire de la latitude et des conditions climatiques.

Les couches suivantes composent l'atmosphère :

1. Une couche inférieure (la stratosphère) d'une épaisseur de 10 à 15 km.
2. Une couche intermédiaire de 15 à 100 km d'épaisseur (la mésosphère).
3. Une couche supérieure (ionosphère) d'une portée de 100 à 800 km.

En traversant l'atmosphère le rayonnement solaire est altéré par les phénomènes suivants : [16]

- La diffusion par les molécules et les particules en suspension.
- l'absorption sélective, par l'oxygène, l'ozone, le ( $\text{CO}_2$ ) et la vapeur d'eau.
- la diffraction par les poussières et les gouttelettes en suspension.
- la réflexion sur les nuages.

### **I.2.3.1. Le rayonnement solaire direct :**

Le rayonnement direct est le rayonnement incident sur un plan donné en provenance d'un petit angle solide centré sur le disque solaire, il parvient en ligne droite et par temps clair [17].

L'état du ciel est défini par deux coefficients, a et b qui symbolisent le trouble atmosphérique du lieu où se trouve le capteur solaire (tableau I.1).

La transmissivité totale de l'atmosphère pour le flux solaire incident direct est donnée par [18]:

$$\tau_{dir} = a \times [\exp(-p \times b) / (1000 \times \sin(h))]$$

Où:

a, b : coefficients traduisant les troubles atmosphériques.

h: hauteur du soleil.

P : pression atmosphérique du lieu.

**Tableau(I.1):** Valeurs des coefficients du trouble atmosphérique [19].

	Ciel pur	Conditions normales	Zones industrielles
a	0,87	0,88	0,91
b	0,17	0,26	0,43

Le rayonnement direct reçu sur un plan horizontal est donné par [20] :

$$\mathbf{G_{dirh}} = \mathbf{C^*} \times \mathbf{\tau_{dir}}$$

Gdirh : éclairement énergétique direct reçu sur un plan horizontal.

L'éclairement énergétique Gdir reçu sur un plan incliné est donné par [18]:

$$\mathbf{G_{dir}} = \mathbf{G_{dirh}} \times \mathbf{\cos \theta}$$

$\theta$ : angle d'incidence des rayons solaires.

### **I.2.3.2. Le rayonnement solaire diffus:**

La diffraction de la lumière par les molécules atmosphériques et sa réfraction par la terre provoquent un rayonnement diffus qui permet de voir toute la voûte céleste [17].

Les transmissions de flux direct et diffus ont la relation suivante :

$$\mathbf{\tau_{dif}} = \mathbf{0.271 - 0.2939} \times \mathbf{\tau_{dir}}$$

Le flux diffus reçu sur un plan horizontal est défini par:

$$\mathbf{G_{diph}} = \mathbf{C^*} \times \mathbf{\sinh} \times \mathbf{\tau_{dif}}$$

Le flux diffus reçu sur un plan incliné est défini par [18]:

$$\mathbf{G_{dif}} = \mathbf{G_{dif1}} + \mathbf{G_{dif2}}$$

$$\mathbf{G_{dif1}} = \mathbf{G_{diph}} \times \frac{\mathbf{1 + \cos(i)}}{\mathbf{2}}$$

$$\mathbf{G_{dif2}} = \mathbf{alb} \times \frac{\mathbf{1 + \cos(i)}}{\mathbf{2}} \times \mathbf{G_{diph}} \times \mathbf{\sinh} + \mathbf{G_{diph}}$$

Gdif1, Gdif2: rayonnements diffusés par le ciel et par le sol respectivement.

Alb : albédo du sol.

i: angle d'inclinaison du plan du capteur par rapport à l'horizontale.

### **I.2.3.3. Le rayonnement global:**

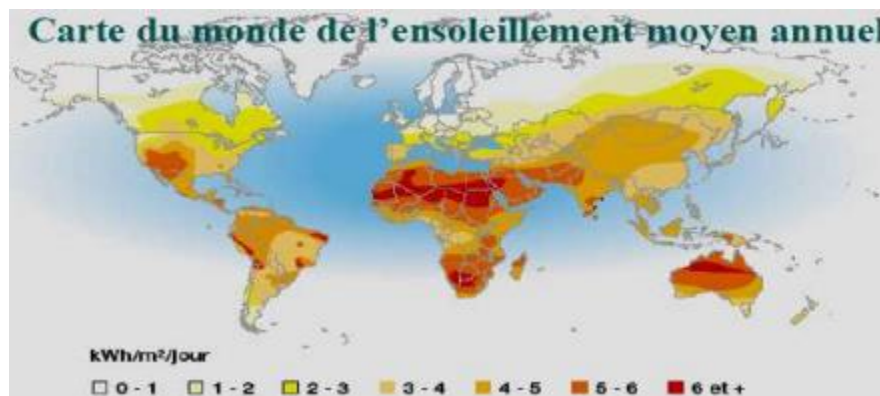
Le rayonnement global (G) est la somme des rayonnements diffus et direct [17]:

$$\mathbf{G} = \mathbf{G_{dir}} + \mathbf{G_{dif}}$$

### I.2.4. Le gisement solaire en Algérie:

Le champ solaire est un ensemble de statistiques décrivant l'évolution du rayonnement solaire accessible dans le temps. Il permet de modéliser le fonctionnement d'un système solaire et d'en déterminer le dimensionnement le plus précis possible en tenant compte de la demande à satisfaire [21].

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure(I.2) :



**Figure I.2:** Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel [22].

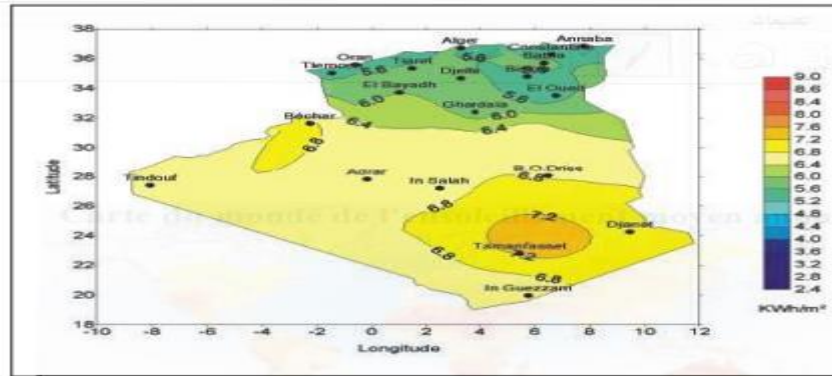
L'Agence spatiale allemande (ASA) a déclaré après une évaluation par satellite que l'Algérie dispose du potentiel solaire le plus important du bassin méditerranéen, avec 169 000 TWh/an pour le solaire thermique et 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire de l'Algérie est l'équivalent de dix énormes découvertes de gaz naturel identifiées à Hassi R'Mel. Le tableau I.5 présente la répartition du potentiel solaire par zone climatique au niveau national en Algérie, en fonction de l'ensoleillement reçu annuellement [22] :

**Tableau (I-2):** Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques.

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

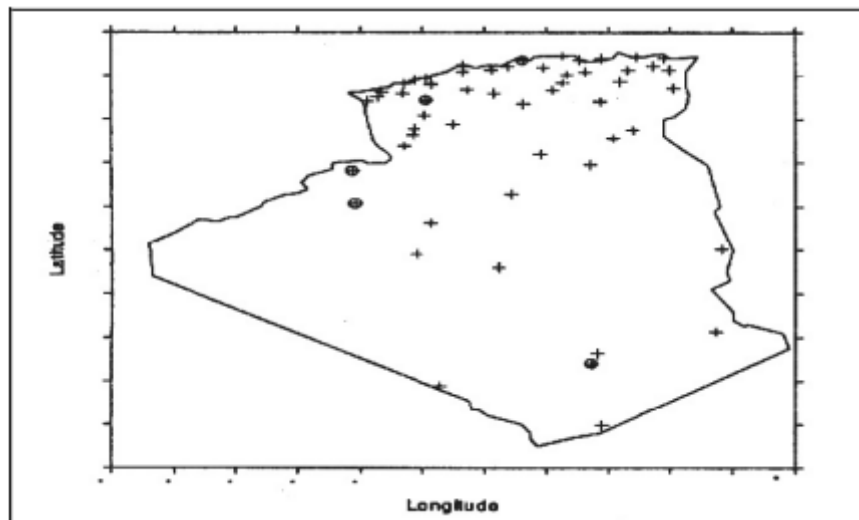
La durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de 3500h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8h/j et peut arriver jusqu'à 12h/j pendant l'été à l'exception de l'extrême sud où elle baisse jusqu'à 6h/j en période estivale [22].

La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie (figure I.3).



**Figure I.3:** Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu [23].

En Algérie, un réseau de 78 stations de mesure météorologique O.N.M (annexe D) sont dispersées à travers le pays (figure I.4) [21]. Cependant, en raison du manque de fiabilité des instruments de mesure ou du coût exorbitant de tels équipements, seules 7 stations météorologiques assurent la mesure des composantes diffuse et globale de l'énergie solaire reçue sur un plan horizontal. En raison de la facilité d'installation, la durée d'ensoleillement est contrôlée à l'aide d'un héliographe dans la majorité des stations (O.N.M).



**Figure I.4:** Répartition territoriale des stations météorologiques en A.

### I.3. situation climatique :

Le climat du sud algérien est caractérisé par une extrême aridité avec une humidité extrêmement faible. La température annuelle moyenne est d'environ 25°C, avec des étés chauds et des hivers froids. Températures extrêmes supérieures à 50°C.

Les pluies se caractérisent par leurs grandes variabilités interannuelles. Dans le Sahara septentrional, elles sont fines alors qu'elles sont diluviennes. Ces différentes caractéristiques

climatiques se répercutent sur l'hydrographie saharienne. Ainsi l'écoulement des oueds est temporaire. Lorsque mes vallées n'on pas d'écoulement superficiel elles on souvent un écoulement souterrain, lequel prend beaucoup d'importance vue la rareté des eaux superficielles.[24]

### I.3.1.Signification du site d'El-Oued:

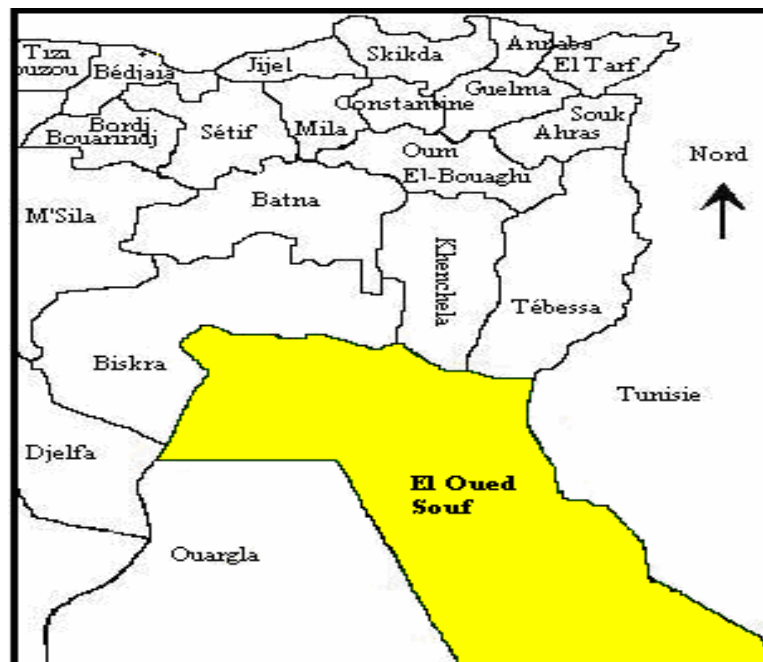
El-Oued est une wilaya du sud-est du pays d'une superficie totale de 44585 km<sup>2</sup>.

Elle a une population totale estimée à 990000 habitants à fin 2013.

Ses coordonnées géographiques sont : [24]

**Tableau (I-3):** coordonnées géographiques.

Station	Code A.N.R.H	Altitude (m)	Longitude	Latitude
Guemar	13 04 09	64	06°47'E	33°30'N



**Figure I.5:** Superfétation du site d'El-Oued.

### I.3.2.Le Climat:

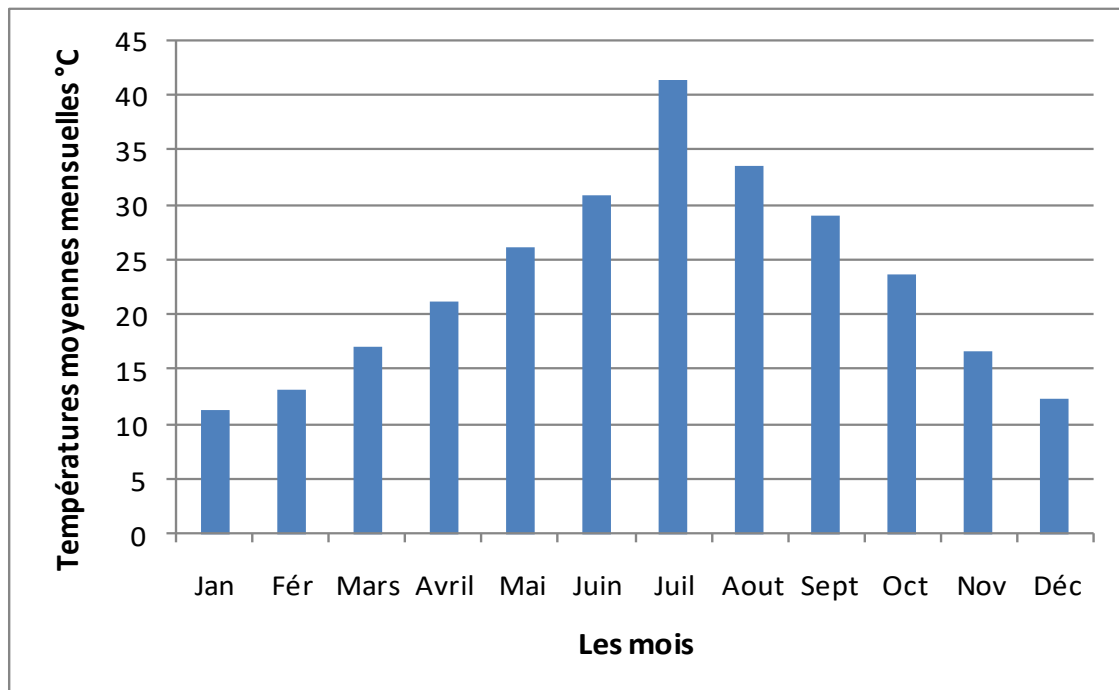
La Wilaya d'El-Oued a un climat saharien, avec très peu de précipitations, des températures élevées, une évaporation importante et un écosystème de vie biologique fragile [24].

### I.3.3.Température:

De 1991 à 2020, les températures mensuelles moyennes du mois le plus chaud (juillet) étaient de 41,4°C. Ceux du mois sont Le mois le plus froid (janvier) a une température moyenne de 11,4°C [24].

**Tableau (I-4):** Températures moyennes mensuelles (°C) (1991-2020)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Tm(°C)	11,4	13,2	17,2	21,2	26,2	30,9	41,4	33,7	29,2	23,7	16,7	12,3



**Figure I.6:** Températures moyennes mensuelles dans la région d'El-Oued (1991-2020).

### I.3.4.Pluviométrie:

À El Oued, les précipitations totalisent 85 millimètres par an : elles sont donc au niveau désertique. Au mois le moins pluvieux (juillet) elles s'élèvent à 1 mm, dans le mois le plus pluvieux (novembre) elles s'élèvent à 25 mm. Voici la moyenne des précipitations [24].

**Tableau (I-5):** Précipitation moyennes mensuelles (mm) (1991-2020)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Pm(mm)	9	5	7	8	2	3	1	2	13	5	25	5

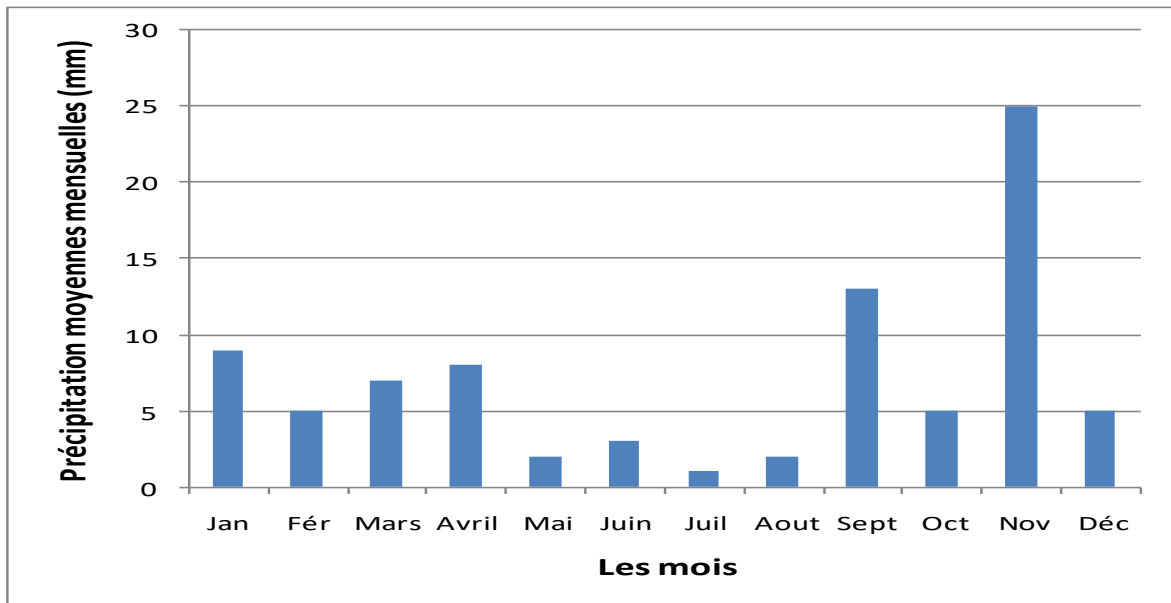


Figure I.7: Précipitation moyennes mensuelles dans la région d'El-Oued (1991-2020).

### I.3.5.Humidité:

L'humidité moyennes mensuelles enregistrée de l'année 1991 à 2020 au mois le plus humide (décembre) sont de 64%. Alors que celles du mois Les températures moyennes du mois Moins humide (juillet) sont de 29% [24].

Tableau (I-6): Humidité moyennes mensuelles (%) (1991-2020).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Hm(%)	62	52	46	41	35	31	29	32	44	50	57	64

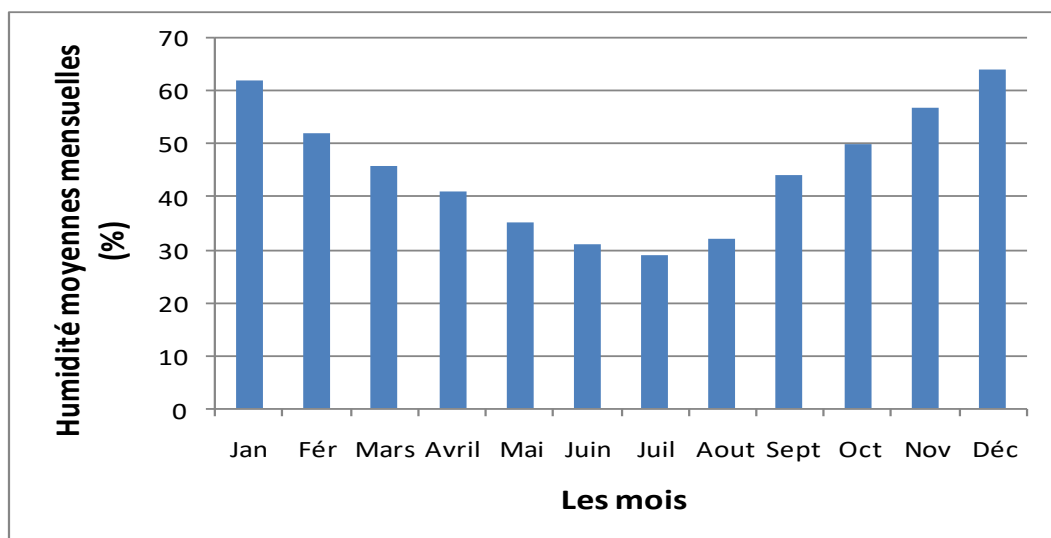


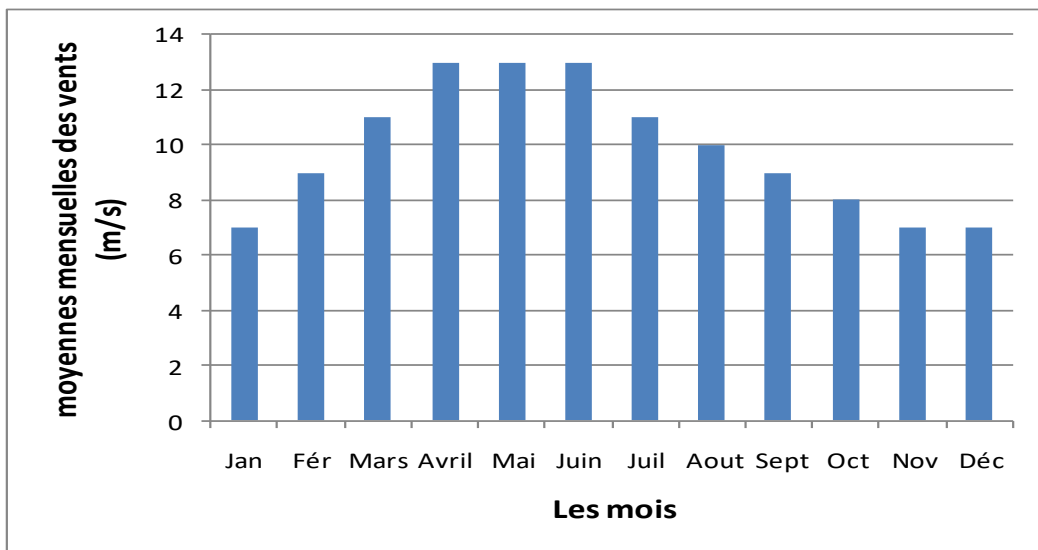
Figure I.8: Humidité moyennes mensuelles dans la région d'El-Oued (1991-2020).

### I.3.6. Les vents:

Le maximum de la vitesse des vents est enregistré au mois de avril et mai et juin avec une vitesse moyenne de 13 m/s, le minimum est au mois de janvier et novembre et décembre avec 7m/s [24].

**Tableau (I-7):** Vitesse moyennes mensuelles des vents (m/s) (1991-2020).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
V.m(m/s)	7	9	11	13	13	13	11	10	9	8	7	7



**Figure I.9:** Vitesse moyennes mensuelles des vents (m/s) dans la région d'El-Oued (1991-2020).

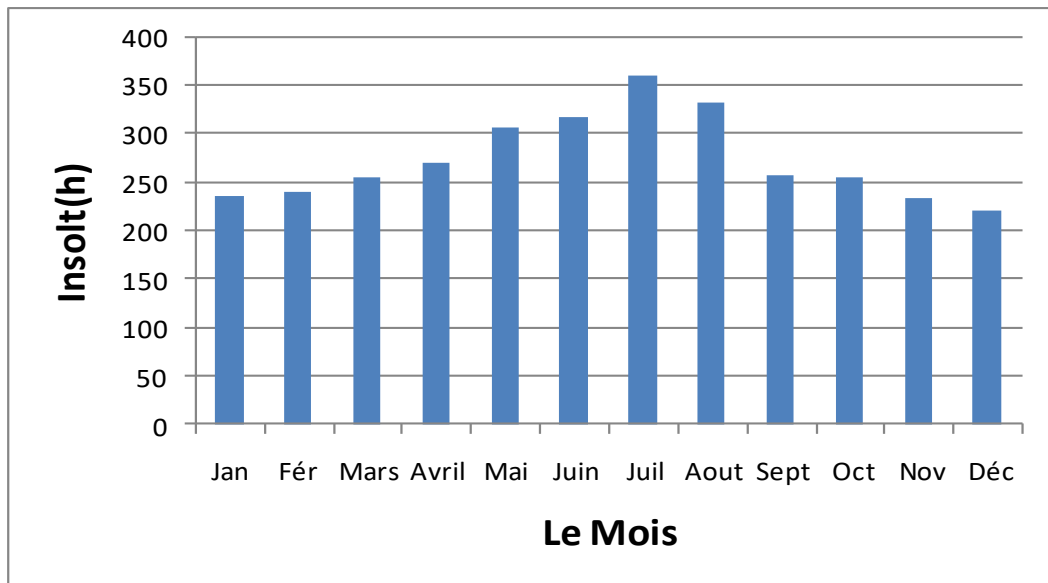
### I.3.7. Durée d'insolation:

En se basant sur les données mesurées les années 2004 à 2020 par la station météo d'El-Oued, on remarque :

La vallée de El-Oued reçoit une quantité de lumière solaire très forte, le maximum est atteint au mois de juillet avec une durée moyenne de 362 heures, et le minimum est enregistré au mois de décembre avec une durée moyenne de 221 heures [25].

**Tableau (I-8):** Valeur moyennes d'insolation mensuelle (2004-2020).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Insolt(h)	236	240	255	270	308	318	362	333	259	256	235	221



**Figure I.10:** Valeur moyennes d'insolation (h) mensuelles des dans la région d'El-Oued (2004-2020).

#### I.4. Conclusion

Le but du travail est de modéliser et de déterminer les facteurs météorologiques affectant différentes zones d'une ville dans la région désertique (El-Oued - Algérie).

En fait, après avoir mené des recherches sur le climat de l'État d'El-Oued et recueilli des informations auprès de références fiables et de parties concernées telles que la salle météorologique de l'aéroport de l'État, il a été constaté que la région de la vallée est dominée par un climat désertique, qui est considéré comme modéré à froid en hiver et chaud en été avec peu de précipitations, et le ciel est clair en toutes saisons et un pourcentage d'humidité faible avec le long ensoleillement tout au long de l'année, ce qui a permis d'implanter des capteurs solaires au niveau de la région avec un rendement élevé capable de donner d'excellents résultats.

# *Chapitre II*

## *Capteur solaire*

## II.1.Introduction :

Un capteur solaire est un dispositif conçu pour collecter l'énergie transférée par le rayonnement solaire, la convertir en énergie thermique et la transférer à un fluide caloporteur, qui combine les deux principes physiques de l'effet de serre et de l'effet de corps noir.

La chaleur produite par les capteurs peut ensuite être utilisée pour [14]:

- Sécher les grains et les fourrages.
- Activer la croissance des végétaux.
- Alimenter des machines de réfrigération.
- Faire fonctionner des moteurs thermiques.
- Chauffer les locaux et fournir l'eau chaude sanitaire.

## II.2.Principe de Fonctionnement d'un capteur solaire:

Le principe de fonctionnement d'un capteur solaire est relativement simple (figure II.1) [26]:

Le rayonnement solaire traverse le verre et atteint un absorbeur avec une surface sélective, où il est transformé en chaleur sur la surface de l'absorbeur. La chaleur captée est transférée à un échangeur thermique par le fluide caloporteur circulant dans l'absorbeur.

La couverture transparente génère un effet de serre car le vitrage est transparent pour les rayonnements infrarouges visibles et proches mais opaque pour les rayonnements infrarouges lointains émis par l'absorbeur.

L'isolation thermique sous et autour du capteur réduit la perte de chaleur, augmentant ainsi l'efficacité du capteur.

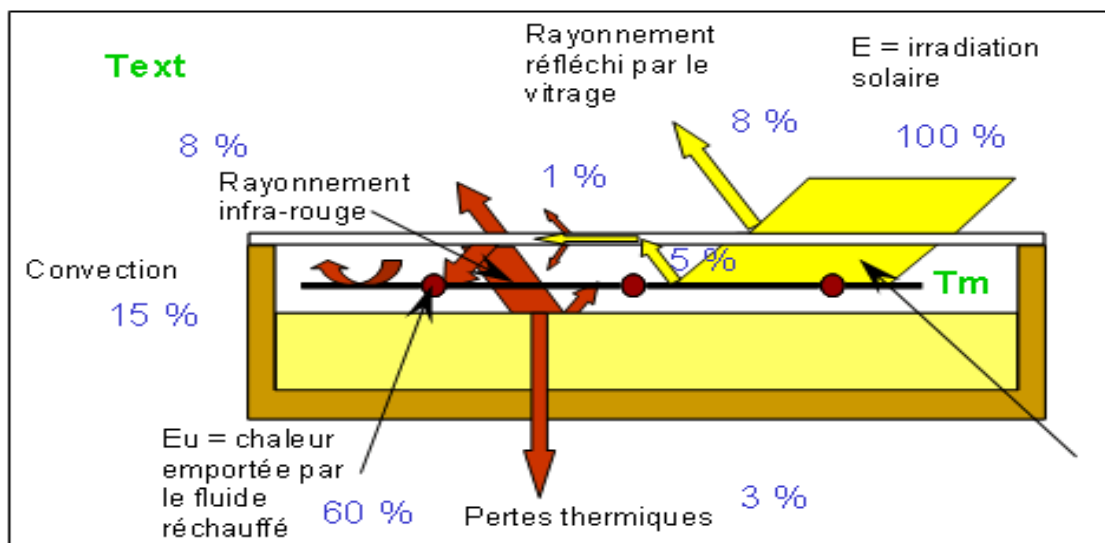


Figure II.1: Schématisation de principe de captation du rayonnement solaire.

Le fonctionnement du capteur est basé sur le principe de l'effet de serre. Le fait que le verre soit perméable à la lumière solaire (aux courtes longueurs d'onde) mais pratiquement impénétrable au rayonnement infrarouge explique ce phénomène (aux grandes longueurs d'onde). Comme le rayonnement émis par ce corps, principalement dans l'infrarouge, ne peut pas traverser le verre, un flux solaire le traversant et échauffant un corps derrière est piégé.

Un absorbeur est un corps qui sert à piéger la lumière solaire. Afin d'augmenter son coefficient d'absorption, il est généralement noirci. Un fluide calorigène en bon contact thermique avec l'absorbeur chauffé cède sa chaleur. D'un point de vue thermique, la surface absorbante absorbe l'énergie incidente et la transmet à un fluide caloporteur via des surfaces d'échange. Cette transmission est plus ou moins efficace selon le type de capteur d'une part et le niveau de température du fluide caloporteur d'autre part. La perte de chaleur provient du capteur. Le rayonnement, la conduction et la convection sont tous des moyens par lesquels les surfaces chaudes échangent de la chaleur avec l'environnement.

### II.3.Principaux composants des capteurs solaires :

Chaque ensemble capteur est constitué : [27]

- D'une couverture transparente
- D'un absorbeur avec circuit échangeur et revêtement de surface
- D'une isolation thermique sur les côtés et à l'arrière de l'absorbeur
- D'un cadre et d'un coffre.

Nous allons étudier chaque élément en particulier, en donnant les indications nécessaires pour réaliser ou choisir un bon capteur.

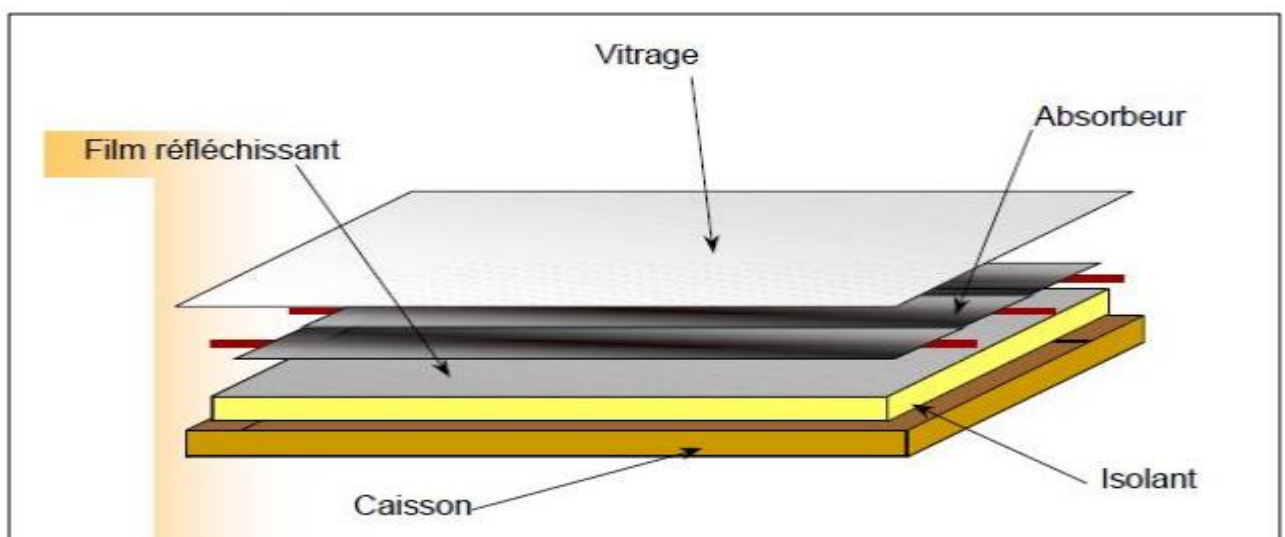


Figure II.2: Capteur plan vitré.

### **II.3.1. Couverture transparente:**

Le couvercle sert à protéger mécaniquement l'absorbeur, mais il contribue également à maintenir l'équilibre thermique en abaissant la chaleur. L'importance des échanges convectifs est déterminée par l'épaisseur de la couche d'air ou de gaz placée entre l'espace de couverture et l'absorbeur.

Echanges radiatifs par effet de serre, c'est-à-dire une grande transparence et une faible transmission du rayonnement infrarouge par l'absorbeur.

La couverture doit être résistante aux chocs, aux changements de température et aux températures extrêmes. Il doit être simple à installer et avoir un faible coefficient de dilatation et de flexibilité.

### **II.3.2. Absorbeur:**

L'absorbeur est un élément essentiel du capteur solaire. Il doit absorber la plus grande partie du rayonnement solaire et transmettre la chaleur produite vers le fluide caloporteur avec un minimum de perte.

### **II.3.3. Isolation arrière:**

Les isolants en face arrière généralement utilisés sont la laine de verre et les mousses de polyuréthane. L'épaisseur varie de 4 à 8 cm. Il faut que les produits utilisés résistent aux températures de fonctionnement (maximum de 120°C).

### **II.3.4. Coffre ou la cadre:**

Le coffre du capteur renferme les différents actifs. De ce fait, il doit assurer une bonne protection contre les agents atmosphériques.

Les bacs collecteurs sont en tôle fine (acier galvanisé, aluminium, inox) avec un revêtement résistant aux intempéries pour les protéger.

Le coffre ou le cadre doit maintenir le couvercle attaché tout en lui permettant de se déplacer librement. Le verre est généralement placé avec un joint en élastomère résistant aux ultraviolets et un profil mécanique qui permet un montage et un démontage faciles [27].

## **II.4. Les différents types de capteurs solaires:**

Il existe deux principaux types de capteurs solaires, à savoir : les capteurs plans et les capteurs par concentration (concentrateurs solaires) [28].

### II.4.1. Capteurs plans:

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,...).

La quantité d'énergie transférée au fluide caloporteur a un impact direct sur les performances instantanées du capteur.

Les capteurs plats ont un verre transparent, semblable à une serre, qui retient l'énergie thermique s'échappant de la plaque absorbante. Ils ont la capacité de chauffer des fluides caloporteurs à des températures légèrement supérieures à 80°C, avec un rendement allant de 40% à 80%. Généralement, les capteurs fixes à usage domestique sont installés sur les toits des maisons. L'efficacité des capteurs est déterminée par l'angle qu'ils forment avec le plan horizontal. Leur inclinaison idéale varie en fonction de la latitude de l'installation. L'air ou un liquide (eau ou mélange eau-antigel) est utilisé dans le système de chauffage solaire, et le stockage thermique est généralement effectué dans un accumulateur de pierre ou un réservoir d'eau bien isolé [28].



**Photo II.1:** Capteur solaire plan à air.

### II.4.2. Capteurs par concentration:

Les fluides caloporteurs ne peuvent pas être chauffés à des températures très élevées dans des capteurs plans. En revanche, les capteurs de concentration sont réalisables, mais ils sont plus compliqués et coûteux. Ce sont des réflecteurs en demi-cylindre qui concentrent et

réfléchissent l'énergie solaire sur un tuyau métallique serpentin qui fait circuler un fluide caloporteur. L'intensité du rayonnement augmente du fait de cette concentration, et les températures au niveau du récepteur (appelé la cible) peuvent atteindre plusieurs centaines de degrés Celsius.

Les concentrateurs doivent se déplacer pour suivre la trajectoire apparente du Soleil afin d'être efficaces.

En Arabie Saoudite, par exemple, de telles installations sont utilisées pour dessaler l'eau salée par la méthode d'évaporation [28].



**Photo II.2:** Capteur solaire concentration parabolique.

## **II.5. Paramètres et caractéristiques de fonctionnement des capteurs solaires:**

Le rendement d'un capteur solaire est influencé par différents paramètres [14], [29], [26], [30]. On distingue :

### **II.5.1. Paramètres externes :**

Paramètres d'ensoleillement : éclairement énergétique du au rayonnement global, à la position du soleil et à la durée d'insolation.

- la température extérieure sèche.
- la vitesse du vent sur le capteur.

### **II.5.2. Paramètres internes:**

- Paramètres de position : l'inclinaison et l'orientation.
- Dimensionnement du capteur : L'épaisseur, la longueur, la largeur, et la surface réceptrice.
- La section de passage du fluide.

### II.5.3. Paramètres de fonctionnement:

- La température d'entrée du fluide dans le capteur.
- Les températures des différentes parties du capteur.
- le débit du fluide caloporteur.

### II.6. Transferts de chaleur:

Un capteur solaire met en jeu simultanément les trois modes de transfert thermique, conduction, convection et rayonnement (figure II.3).

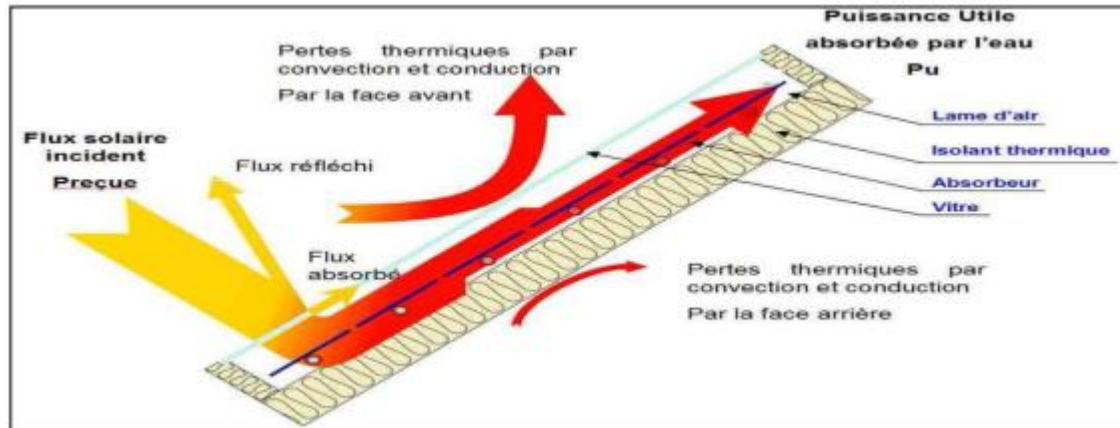


Figure II.3: Différents échanges thermiques dans un capteur plan.

#### II.6.1. Conduction:

La conduction est le mode de transfert de chaleur caractérisé par la propagation de l'énergie thermique dans un milieu matériel sans déplacement de la matière.

La loi correspondant à ce processus de diffusion thermique est la loi de Fourier donnée par la relation.

$$q = -K.A.gradT \quad (II.1)$$

q : flux de chaleur.

k : coefficient de conductivité thermique.

A : surface d'échange.

#### II.6.2. Convection:

La convection est un transport d'énergie dû à des mouvements macroscopiques, on distingue deux types de convection:

**II.6.2. 1. Convection forcée :** le mouvement du milieu est engendré par un dispositif externe (le vent, une pompe, un ventilateur...etc).

**II.6.2. 2. Convection naturelle :** le mouvement du fluide est engendré par les variations de densité causées par des variations de température au sein du fluide.

Le transfert thermique convectif est régi par la loi de Newton [27]:

$$\mathbf{q} = \mathbf{h.s. (T_p - T_f)} \quad (\text{II.2})$$

q : le flux échangé par convection.

h : coefficient de convection.

S : surface de la paroi solide en contact avec le fluide.

T<sub>p</sub>: température de la paroi solide.

T<sub>f</sub> : température du fluide.

### II.6.3. Le rayonnement:

Le transfert de chaleur par rayonnement a lieu lorsque de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques est émise par une surface et absorbée par une autre. Cet échange peut avoir lieu lorsque les corps sont séparés par le vide ou par n'importe quel milieu intermédiaire suffisamment transparent pour les ondes électromagnétiques [31].

La loi fondamentale du rayonnement est celle de Stefan-Boltzmann [31]:

$$\mathbf{q} = \boldsymbol{\varepsilon} \times \boldsymbol{\sigma} \times \mathbf{T}^4 \quad (\text{II.3})$$

q : densité de flux de chaleur émis par le corps.

ε : émissivité thermique du matériau.

σ: constante de Stefan-Boltzmann évaluée à  $5,6.10^{-8} \text{ W/m}^2.\text{K}^4$ .

T : température absolue du corps.

Dans un capteur solaire plan le transfert par rayonnement s'effectue entre :

- La vitre et le ciel.
- La vitre et la plaque chauffante.
- L'isolant et le sol.

### II.7. Quelques études réalisées sur les capteurs solaires:

Dans le but de favoriser le transfert thermique entre l'absorbeur et le fluide de travail dans un capteur à air, **A.Amed Zaid et Al** [32] ont introduit des chicane dans la vanne dynamique du capteur, lesquelles vont augmenter la section de passage de l'air, d'où l'augmentation du nombre de Reynolds et la création de la turbulence.

Les auteurs ont utilisé des chicane Delta Centrées Longitudinalement (DCL), Ogivales Centrées Longitudinalement (OCL) et Transversales-Longitudinales (TL), placées sur l'isolant, sous l'absorbeur ou par la combinaison des deux (figures III.1 et III.2).



**Figure II.4:** Disposition des obstacles OCL

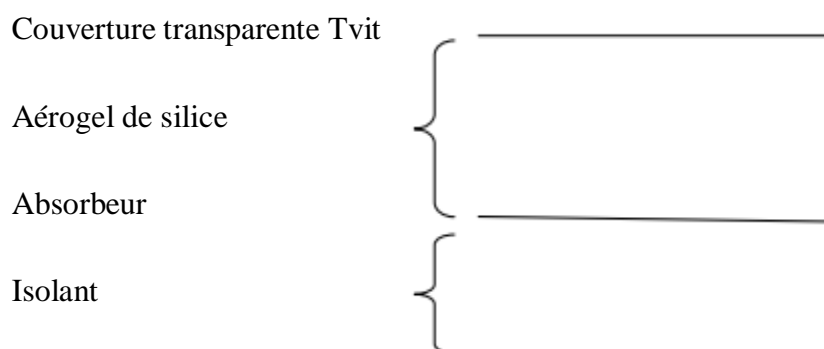


**Figure II.5:** Disposition des obstacles DCL

Leurs résultats expérimentaux ont montré que les chicanes (TL) présentent un rendement meilleur par rapport aux chicanes (DCL), (OCL).

Dans le but de minimiser les pertes thermiques vers l'avant de l'absorbeur, **Feyza Benyelles et Al** [33] ont proposé de placer un isolant " aéro-gel de silice " au dessus de l'absorbeur comme le montre la figure III.3.

Les auteurs ont choisi l'aéro-gel de silice pour ses propriétés. C'est un matériau solide à basse densité variant de 80 à 270 kg/m<sup>3</sup>, transparent, poreux (porosité de 35% à 90%). Son indice de réfraction est compris entre 1.2 à 1.05. Pour une épaisseur de l'ordre de 20mm, la transmittance solaire normale est de 90%. Sa conductivité thermique est de l'ordre de 0.02 W/m. K.



**Figure II.6:** Conception des capteurs à aéro-gel de silice

Plusieurs capteurs dans les mêmes conditions expérimentales ont été comparés:

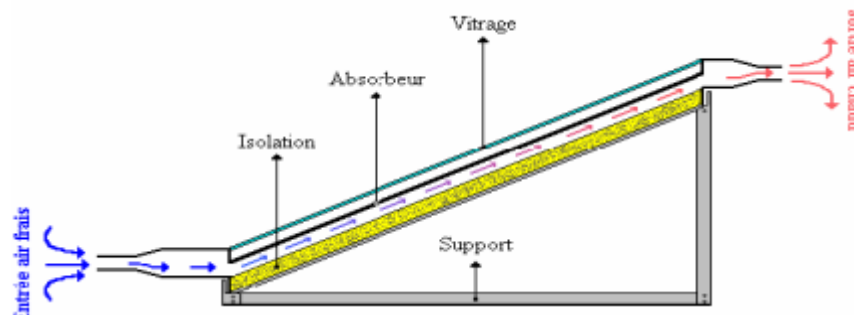
- Capteur simple vitrage à absorbeur non sélectif.

- Capteur simple vitrage à absorbeur sélectif.
- Capteur double vitrage à absorbeur non sélectif.
- Capteur simple vitrage à absorbeur non sélectif muni d'un isolant à aérogel de silice.

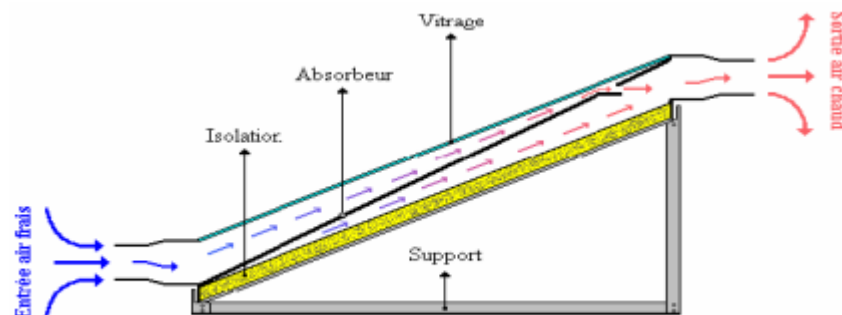
Les auteurs ont trouvé que la température de la vitre d'un capteur simple vitrage à absorbeur non sélectif peut atteindre 50°C, alors qu'elle n'atteint que 20 °C pour un absorbeur muni d'un isolant aérogel de silice. En outre, le coefficient de pertes thermiques vers l'avant de l'absorbeur, dans ce cas est minime. Ils ont déduit que l'aérogel de silice est un super isolant transparent de la face avant du capteur, et contribue ainsi à l'amélioration du rendement du capteur solaire.

Les auteurs ont étudié trois configurations différentes [34] du capteur solaire à air :

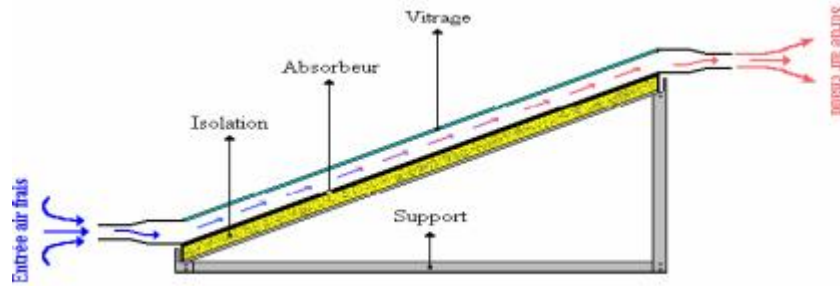
- **Configuration 1** : l'air à chauffer passe sous l'absorbeur (figure III.4).
- **Configuration 2** : la plaque absorbante est placée sur la diagonale du capteur entre la couverture et l'isolant, l'entrée de l'air se trouve au dessus de l'absorbeur tandis que la sortie est située sous l'absorbeur. Elle est munie d'un orifice de section rectangulaire pour permettre l'évacuation de l'air chaud (figure III.5).
- **Configuration 3** : le passage de l'air se trouve entre la vitre et la plaque absorbante au dessus de celle-ci (figure III.6).



**Figure II.7:** Configuration 1



**Figure II.8:** Configuration 2



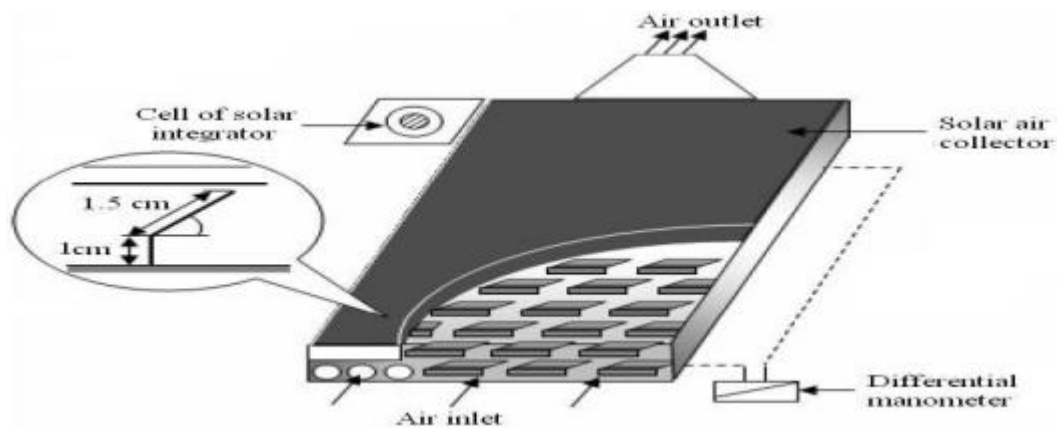
**Figure II.9:** Configuration 3

D'après les résultats expérimentaux trouvés, le transfert thermique est important quand il y a contact direct entre la plaque et l'air couplé à une double circulation de l'air, c'est donc la deuxième configuration qui a donné les meilleurs résultats [34].

Dans le but d'améliorer les performances des capteurs solaires à air, **K. Aoues et al** [35] ont introduit dans la veine d'air mobile des chicanes qui jouent un rôle à double aspect, favorisant le transfert thermique au fluide caloporteur :

- Elles permettent de rendre turbulent l'écoulement à proximité de la plaque chaude.
- Elles prolongent le parcours du fluide caloporteur.

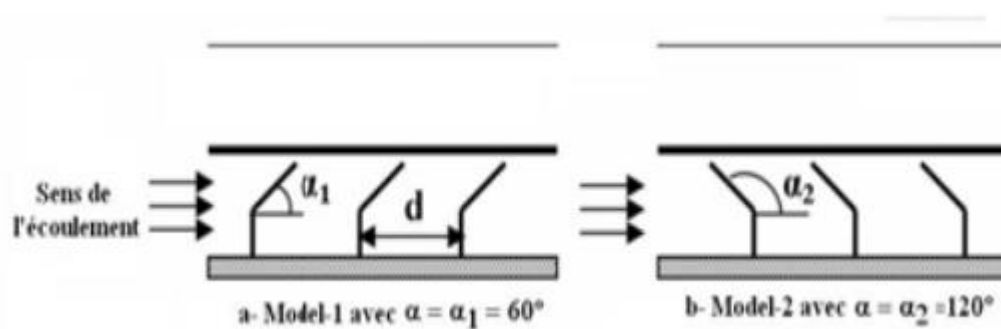
. Le dispositif expérimental est illustré par la figure III.7.



**Figure II.10:** Dispositif expérimental

La veine d'air dynamique du capteur [35] est de 25 mm de hauteur, comprise entre la plaque absorbante et une plaque en acier galvanisé placée sur l'isolant, cette veine est équipée de rangées d'obstacles métalliques minces soudées perpendiculairement à l'écoulement de l'air sur la plaque inférieure. Ces obstacles présentent une différence dans la forme résidant dans la partie inclinée d'angle  $\alpha$  respectivement égale à  $60^\circ$  et  $120^\circ$ . Ces chicanes sont espacées d'une distance respectivement à  $d=10$  cm et  $d=5$  cm suivant deux configuration A et B qui se différencient par le nombre de rangés respectivement égale à 152 et 256 chicanes (figure.

II.11).

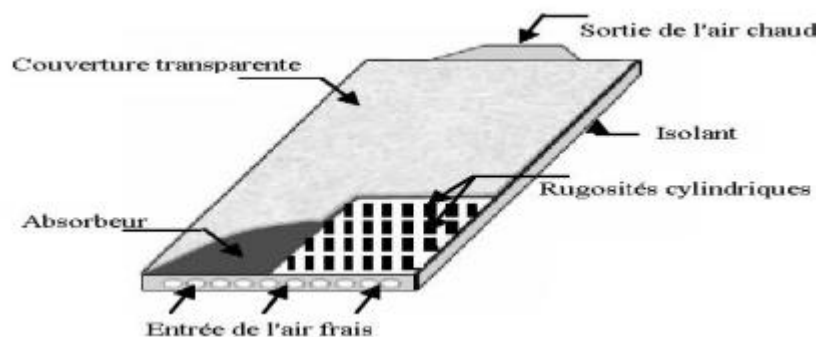


**Figure II.11:** Schéma descriptif des chicane

Après une série de tests expérimentaux, les auteurs ont conclu que la géométrie de passage dans la section droite perpendiculaire à l'écoulement joue un rôle important et ont trouvé que les chicane modèle 1 ( $\alpha=60^\circ$ ) placées dans les configurations A1, B1 donnent les meilleurs résultats par rapport à ceux des configurations A2, B2 qui sont des chicane modèles 2 ( $\alpha=120^\circ$ ).

Cela s'explique par le fait que les chicane du modèle 1 permettent l'orientation du fluide caloporteur en écoulement vers la plaque absorbante, d'où l'augmentation des échanges convectifs. Par contre, les chicane du modèle 2 orientent le fluide caloporteur vers la plaque inférieure.

**K. Aoues et Al** [34] ont mené un travail théorique en vue d'améliorer le coefficient de transfert convectif entre l'air et l'absorbeur, en plaçant des chicane cylindriques perpendiculairement à l'écoulement dans la veine d'air dynamique entre l'absorbeur et l'isolant (figure II.12).



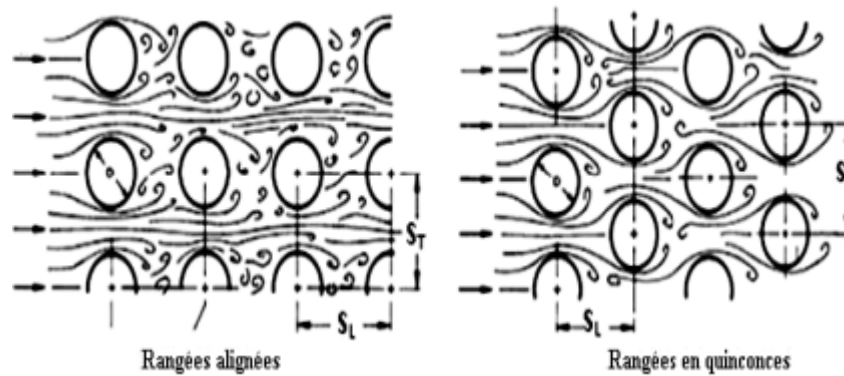
**Figure II.12:** Capteur plan à air muni de rugosités cylindriques

Les auteurs ont étudié les trois cas suivants (figure II.13):

- Le capteur plan à air dépourvu de chicane.

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

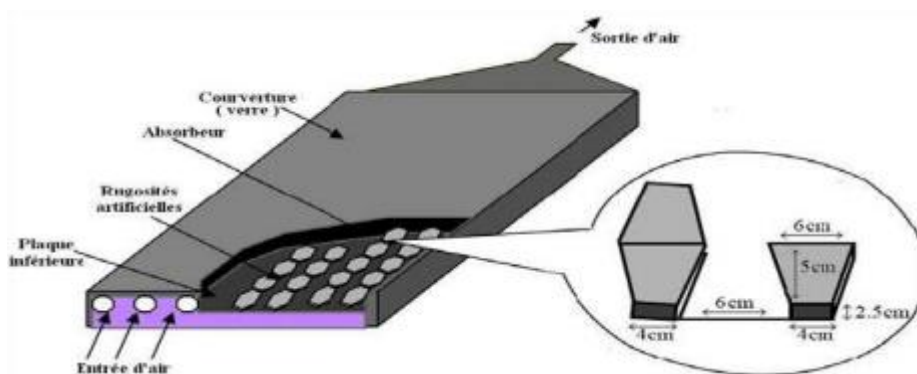
Les auteurs ont trouvé que le meilleur rendement est obtenu avec des chicanes cylindriques arrangées en quinconce, et le plus bas pour le capteur lisse.



**Figure II.13:** Les différents arrangements des chicanes cylindriques

**A.Labed et al** [36] ont mené des travaux expérimental et théorique afin d'améliorer les performances du capteur solaire plan à air en introduisant un nouveau modèle de rugosité artificielle.

Le système étudié est un capteur solaire plan à air à simple passe composé d'une seule vitre, d'une plaque absorbante en acier galvanisé peinte en noir mat, d'une plaque arrière en acier galvanisé placé sur l'isolant et d'une isolation arrière. Les rugosités artificielles sont de petits canaux, dont la base est de forme trapézoïdale d'une hauteur de 25 mm, elles sont placées entre les deux plaques en acier galvanisé (figure II.14).



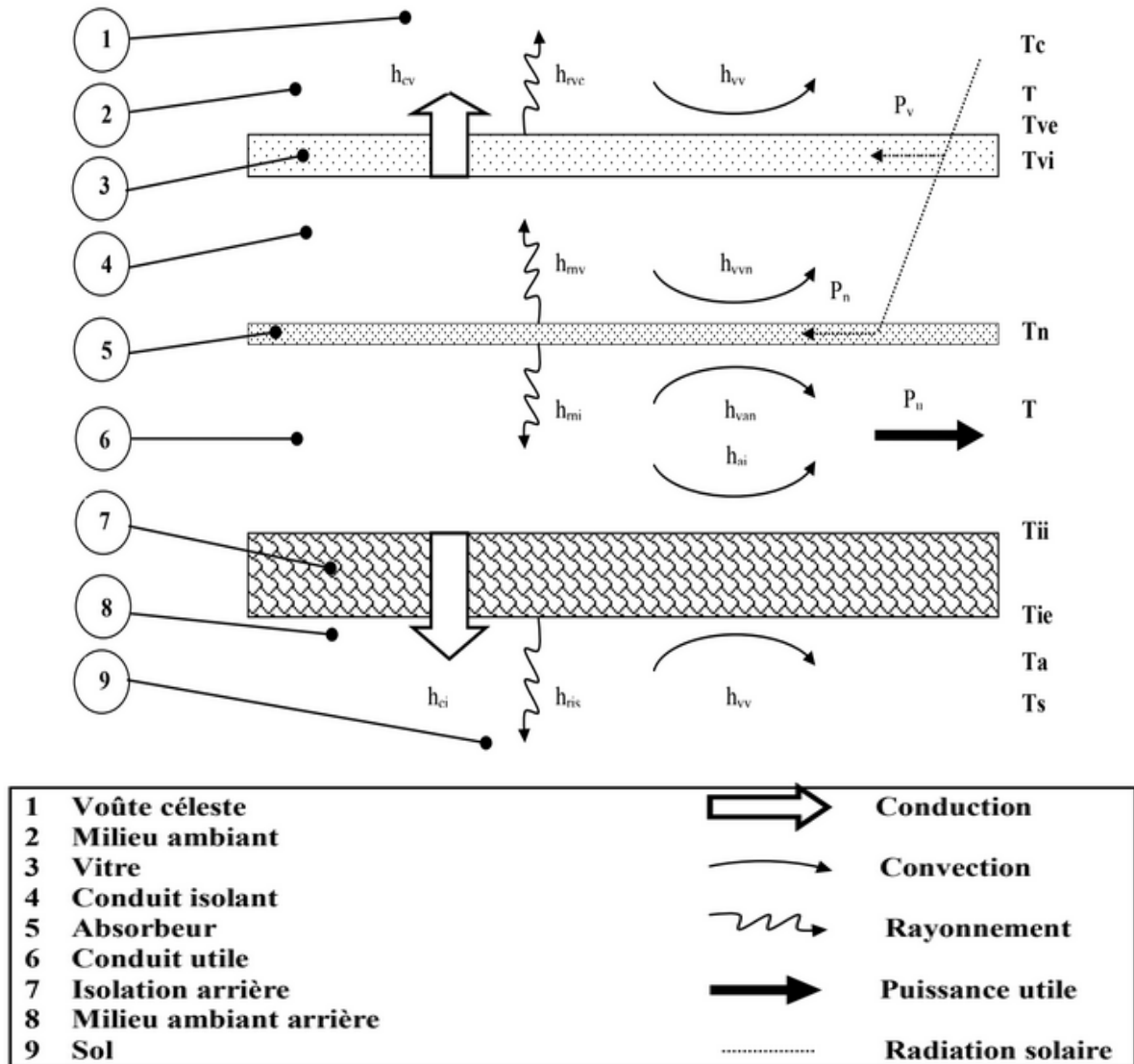
**Figure II.14:** Schéma du modèle expérimental

Les auteurs ont conclu que les chicanes introduites dans la veine d'air utile agissent favorablement sur le transfert thermique, cependant elles engendrent des pertes comparativement à un canal lisse.

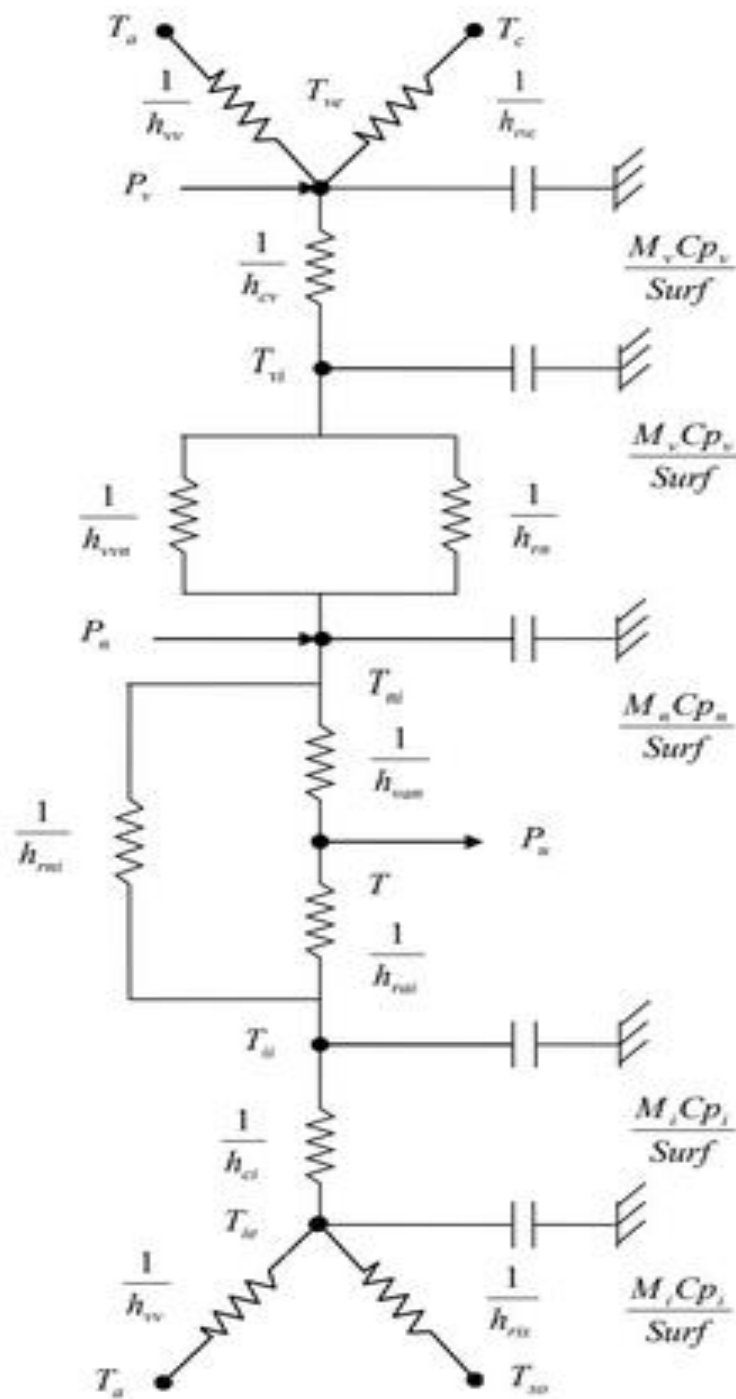
Les résultats théoriques sont validés par les résultats expérimentaux.

**II.8. Bilan d'énergie dans capteur solaire [31]:**

Notre choix s'est porté sur l'insolateur à air schématisé sur la figure II.15



**Figure II.15:** Représentation schématique des transferts thermiques dans le cas du Capteur solaire.



**Figure II.16:** Schéma électrique équivalent au transfert de chaleur dans une tranche du capteur solaire.

### II.8.1. Bilan d'énergie:

Dans la section (tranche) d'indice " J", l'application de la loi d'Ohm au réseau électrique conduit aux équations suivantes [31]:

- Au niveau de la face extérieure de la vitre

$$\frac{M_V C p_V}{Surf} \left( \frac{dT_{ve}}{dt} \right) = \frac{P_v}{2} + h_{rvc}(T_c - T_{ve}) + h_{vv}(T_a - T_{ve}) + h_{cv}(T_{vi} - T_{ve}) \quad (II.4)$$

- Au niveau de face intérieure de la vitre

$$\frac{M_V C p_V}{Surf} \left( \frac{dT_{vi}}{dt} \right) = \frac{P_v}{2} + h_{vc}(T_{ve} - T_{vi}) + h_{rnv}(T_n - T_{vi}) + h_{vvn}(T_n - T_{vi}) \quad (II.5)$$

- Au niveau de l'absorbeur

$$\frac{M_n C p_n}{Surf} \left( \frac{dT_n}{dt} \right) = h_{rnv}(T_{vi} - T_n) + h_{vvn}(T_{vi} - T_n) + h_{van}(T_{(j-1)} - T_n) + h_{rni}(T_{ii} - T_n) + P_n \quad (II.6)$$

- Au niveau de la face intérieure de l'isolant

$$\frac{M_i C p_i}{Surf} \left( \frac{dT_{ii}}{dt} \right) = h_{vai}(T_{(j-1)} - T_{ii}) + h_{ci}(T_{ie} - T_{ii}) + h_{rni}(T_n - T_{ii}) \quad (II.7)$$

- Au niveau de la face extérieure de l'isolant

$$\frac{M_i C p_i}{Surf} \left( \frac{dT_{ie}}{dt} \right) = h_{ci}(T_{ii} - T_{ie}) + h_{ris}(T_s - T_{ie}) + h_{vv}(T_a - T_{ie}) \quad (II.8)$$

- Au niveau du fluide caloporteur (l'air)

$$\frac{Q.Cp}{Surf} (T_{(j)} - T_{(j-1)}) = h_{van}(T_n - T_{(j-1)}) + h_{van}(T_{ii} - T_{(j-1)}) = h_{van}(T_n + T_{ii} - 2 \times T_{(j-1)}) \quad (II.9)$$

Avec :  $M_V = m_v / 2$  et  $M_i = m_i / 2$

Un système d'équations de six inconnues est obtenu, ces inconnues sont :

$T_{ve}$ ,  $T_{vi}$ ,  $T_n$ ,  $T_{ii}$ ,  $T_{ie}$  et  $T$

Dans les équations, dt désigne le pas de temps

“\* “ : L'époque  $t - dt$

## II.9. Rendements d'un capteur solaire:

Les rendements d'un capteur sont définis par rapport au flux solaire incident de la manière suivante :

### II.9.1. Rendement instantané:

Qui définit comme étant le rapport entre la quantité d'énergie utile récupérée et le rayonnement global incident, est donné par:

$$\eta = \dot{\phi}_u / G I \cdot S \quad (\text{II.10})$$

Qui s'écrit

$$\eta = \dot{m} \cdot C_p (T_{fs} - T_{fe}) / I_G \cdot S_{abs} \quad (\text{II.11})$$

### II.9.2. Le rendement journalier :

C'est le rapport de la somme des énergies utiles prises au cours de la journée par la somme d'ensoleillements correspondants [37]:

$$\eta_j = \sum \dot{\phi}_u / S_c \cdot \sum G I \quad (\text{II.12})$$

## II.10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit en détail les capteurs solaires à air et leurs principes de fonctionnement, différents types de capteurs solaires et les éléments pouvant influencer leurs performances. Nous avons aussi passé en revue les principaux travaux effectués sur les capteurs solaires.

Afin d'améliorer les performances thermiques et dynamique d'un capteur, on s'est intéressé à la chicane (promoteur de turbulence). La synthèse bibliographique, faite, a révélé que la présence de mini obstacle quel que soit leur forme améliore significativement le transfert convectif à condition de bien définir les paramètres géométriques et de fonctionnement (débit d'air et température d'entrée) du capteur. Cette partie nous a permis de capitaliser les travaux réalisés sur les capteurs solaires afin de circonscrire notre étude dans ce cadre.

# *Chapitre III*

## *Étude*

### *Expérimentale*

### III.1. Introduction:

A partir de chapitres précédent et nos connaissance sur les capteurs solaire et come il n'ya pas de règle générale pour la conception des capteurs solaire plan à air nous allons dans ce chapitre suivre les étapes principales de la conception de trois capteurs solaires on essaye de les optimiser le plus possible en introduisant dans la veine d'air mobile des chicane qui jouent un rôle à double aspect, favorisant le transfert thermique au fluide caloporteur.

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

Notre expérience est basée sur la création de trois capteurs solaires de même taille, différents au niveau du milieu interne:

- capteur solaire plan à air sans chicane (témoin).
- capteur solaire plan à air avec chicane parallèle.
- capteur solaire plan à air avec chicane croisée.









Photo III.1: Groupe du capteur.

#### III.2.1. Composants du capteur acheté:

Ces composants ont été spécialement sélectionnés pour fabriquer notre capteur. Ces composants sont résumés dans le tableau (III.1):

**Tableau (III.1):** Composants du capteur.

Matière	Dimensions	Quantité	Observation
Tôles de fer galvanisé	2m × 1m × 2mm	2	
Plaques d'aluminium	2m × 1m × 3mm	1	
Plaque de verre	1m × 0.5m × 5mm	3	
Laine de verre	4m × 0.5 m × 7cm	1	
Canne en fer en forme de L	6m×40mm×40mm×1,2mm	3	
Thermocouple	--	10	
Silicone	--	2	
Peinture noire (Black mat)	--	3	
Peinture blanche	--	6	
Ruban adhésif double face pour l'étanchéité	2m × 2cm × 3mm	2	

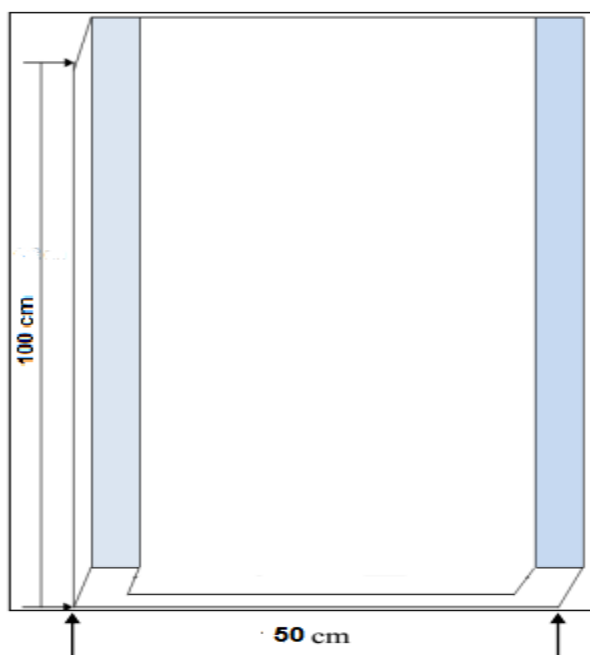
Ruban adhésif gris spécial	--	1	
Vis jnsh	5cm × 8mm	2	
Armoire de mesure de température	40cm × 30cm × 17cm	1	

### III.2.2. Dimensions du capteur plan à air:

Le capteur solaire étudié a été construit au laboratoire de Génie mécanique de l'université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued.

La structure globale du capteur a été fabriquée en tôle de fer galvanisé, avec une longueur de 100 cm et une largeur de 50 cm et une hauteur de 10 cm, et pour réaliser cette structure on doit passer par plusieurs étapes constructives après les mesures des différentes parties du capteur pour obtenir l'objectif de structure désigné.

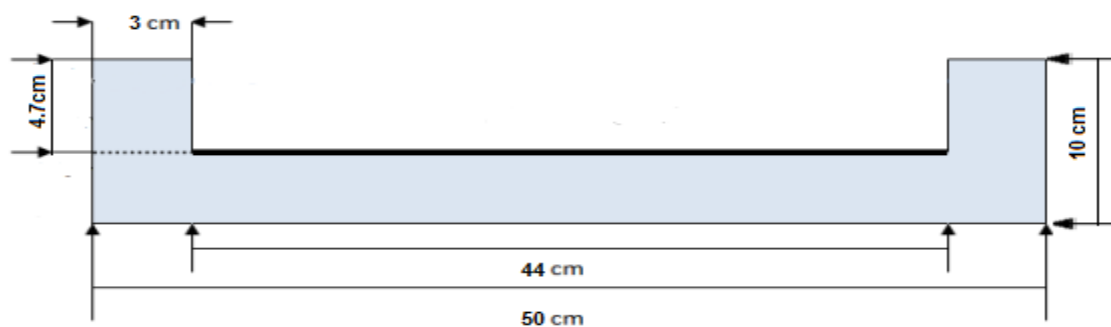
Tout d'abord on doit tracer les différentes parties du capteur conçu par le fer galvanisé et tracer la surface inférieure de longueur 100 cm et de largeur de 50 cm ainsi que tracer le contour pour découper cette partie et la plier sur les bords gauche et droite on la soudant de 10 cm répartie entre les deux vers l'intérieur, la figure (III.1) montre la base du capteur.



**Figure III.1 :** Dimensions base du capteur plan à air.

Dans un deuxième temps on plie les côtés sur une longueur de 17,4 cm et on mesure 10 cm et on plie à nouveau plaque pour obtenir une hauteur de 10 cm.

Troisièmement, nous plions la plaque pour obtenir une largeur de 3 cm pour les côtés et 4,7 cm pour la hauteur du milieu intérieur comme montre la figure (III.2) et la photo (III.2).



**Figure III.2 :** Dimensions du capteur plan à air.



**Photo (III.2):** Le coffre du capteur.

Nous fermons les deux ouvertures des deux côtés avec une plaque de fer pour empêcher l'air d'y pénétrer, puis peignons la structure extérieure en blanc.

### III.2.3. Isolation thermique du capteur plan à air:

L'étape suivante nécessite de placer une laine de verre pour remplir l'espace intermédiaire entre les deux parois latérales du capteur comme isolation thermique, deuxième partie a fait peindre le corps du capteur comme montre la photo (III.3).

Pour isoler la surface inférieure du capteur on doit utiliser la laine de verre comme isolant pour la surface absorbante on la coupe convenablement au mesure de la surface inférieure, cette laine de verre est munie d'une couche fine de papier aluminium pour permettre et augmente le taux d'isolation thermique comme le montre la photo (III.3) ci dessous.

Nous plaçons des couches de laine de verre sur la surface inférieure du capteur d'une épaisseur de 5 cm et sur les côtés d'une épaisseur de 3 cm comme.



**Photo III.3 :** Laine de verre.

### III.2.4. Découpages des plaques couvertures et absorbantes du capteur plan à air:

Après l'étape précédente, on a acheté des plaques de couvertures et des plaques des absorbeurs:

- trois plaques de verre 100 cm de long, 50 cm de large et 5 mm d'épaisseur.



**Photo III.4 :** Plaque de verre.

Il existe plusieurs types d'absorbeurs mais ce que nous allons utiliser dans notre expérience, ce sont trois plaques d'aluminium 3 mm d'épaisseur.

Sachant que ces plaques possèdent une superficie supérieure que celle du capteur ce qui nous oblige à réduire la surface de ce dernier.

Donc on a besoin d'utiliser des machines coupantes pour réduire la superficie des plaques à celle de la surface d'absorbeur d'une dimension de 100 cm de longueur et de 44 cm de largeur c'est réciproque des couvertures.



**Photo III.5:** Plaque d'aluminium.

Après ces coupures des absorbeurs, nous peignons les trois plaques avec de la peinture noire opaque comme le montre la photo (III.6) et (III.7).



**Photo III.6:** Absorbeur en Aluminium.

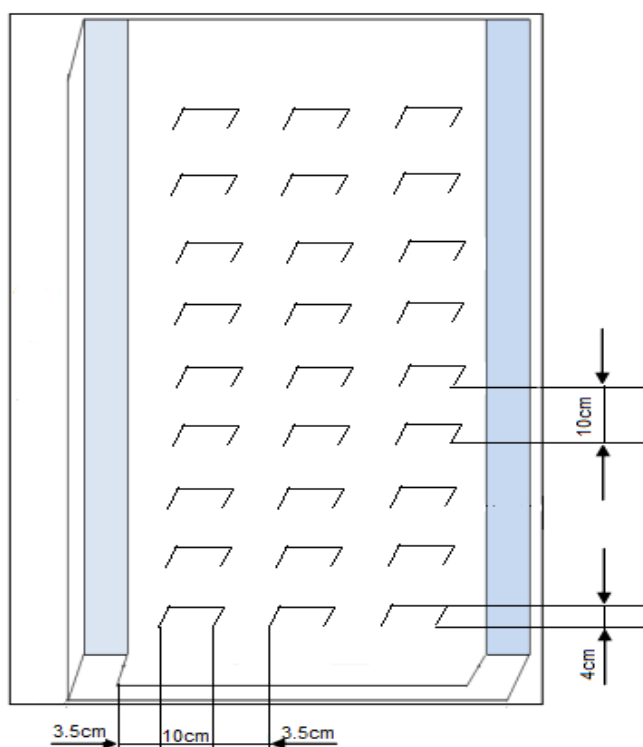


**Photo III.7:** Peignons de l'absorbeur.

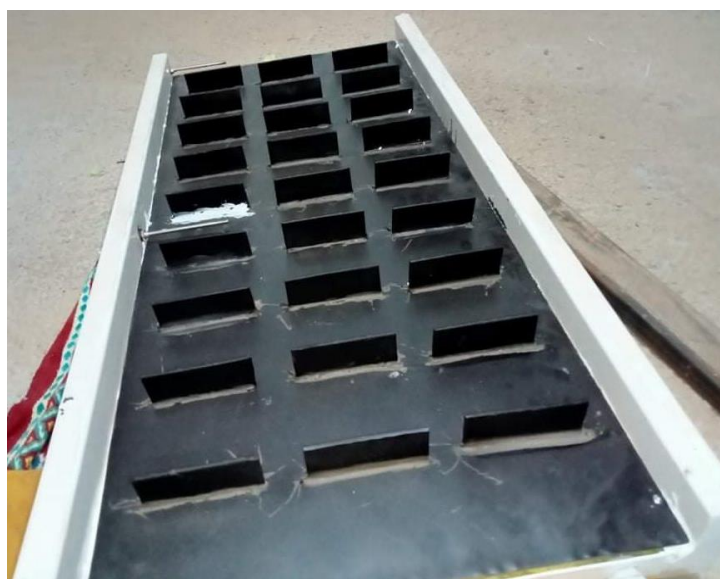
### **III.2.5.Le chicane:**

Nous avons deux capteurs avec des chicanes en aluminium de 3 mm d'épaisseur, 10 cm de longueur et 4 cm de hauteur.

Le premier capteur : neuf rangées d'chicanes parallèles espacées de 10 cm. Chaque rangée comporte trois chicanes, espacées de 3,5 cm. Comme le montre la figure (III.3) et la photo (III.8).

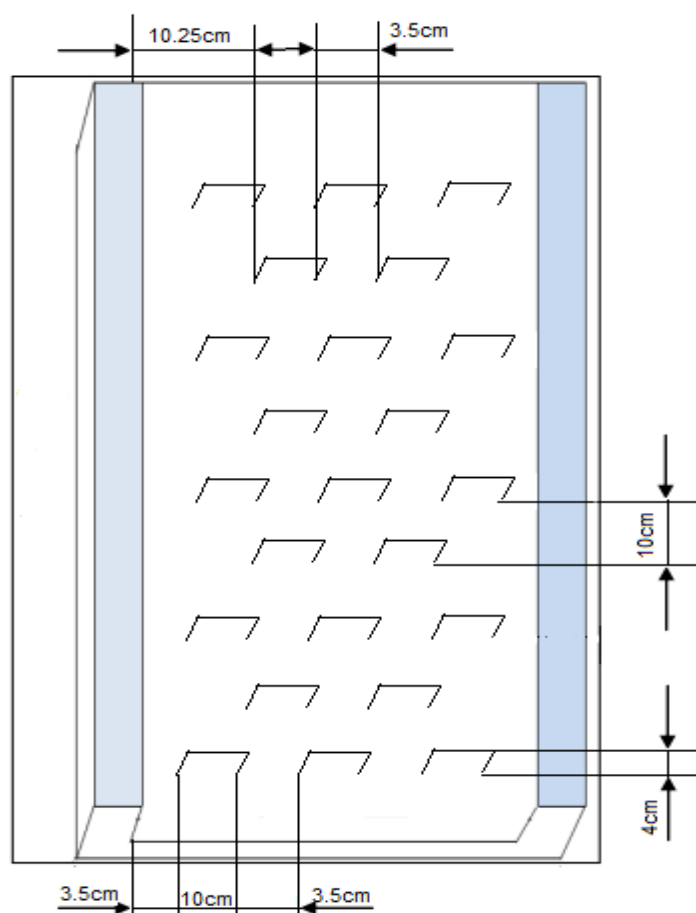


**Figure III.3:** Dimensions de chicanes parallèles.



**Photo III.8:** Capteur solaire avec chicanes parallèles.

Le deuxième capteur : neuf rangées d'chicanes croisée, espacés de 10 cm, cinq rangées, contenant trois chicanes, espacés de 3,5 cm, et quatre rangées, contenant deux chicanes, espacés de 3,5 cm, et sur les côtés de 10,25 cm. Comme le montre la figure (III.4) et la photo (III.9).



**Figure III.4:** Dimensions des chicanes croisée.



**Photo III.9:** Capteur solaire avec chicanes croisée.

### III.2.6. Thermomètre:

Dans ce travail, on doit mesurer la température à l'entrée du capteur, au milieu et à la sortie, et la température de l'absorbeur.

Pour cela, Nous faisons les trous dans les capteurs aux positions requises. Nous avons acheté des thermocouples pour la société Haryest qui donne une température de 0°C à 400°C comme montre la photo (III.10).



Photo III.10: Thermocouple.

Afin de connaître la température, nous achetons une armoire avec quatre dispositifs de contrôleur de température intelligent mode REX-C400. Comme montre la photo (III.11).



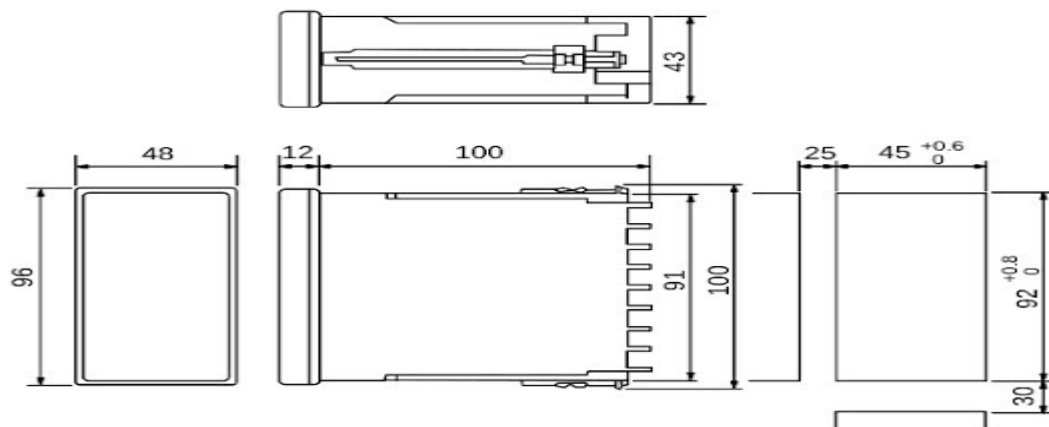
Photo III.11: Armoire de mesure de température.

### III.2.6.1. Dispositif de contrôleur de température intelligent mode REX-C400:

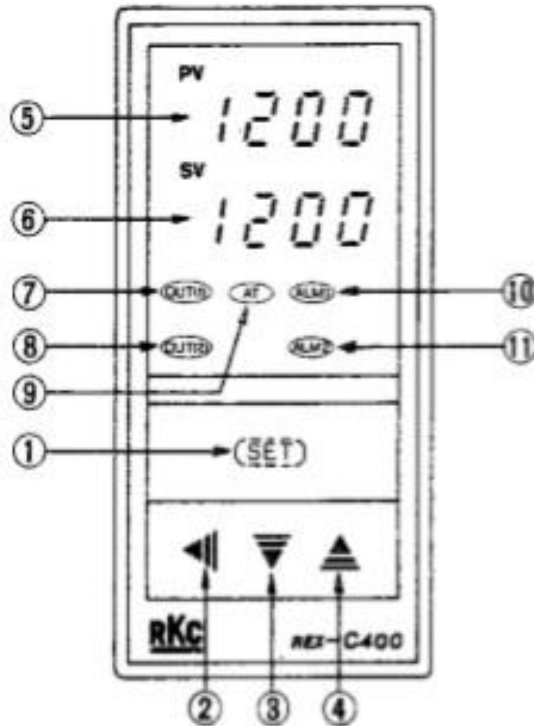
C'est un appareil qui vous donne la température après l'avoir connecté à un appareil qui mesure la température. Comme montre la photo (III.12).



**Photo III.12:** Dispositif de contrôleur de température intelligent mode REX-C400.



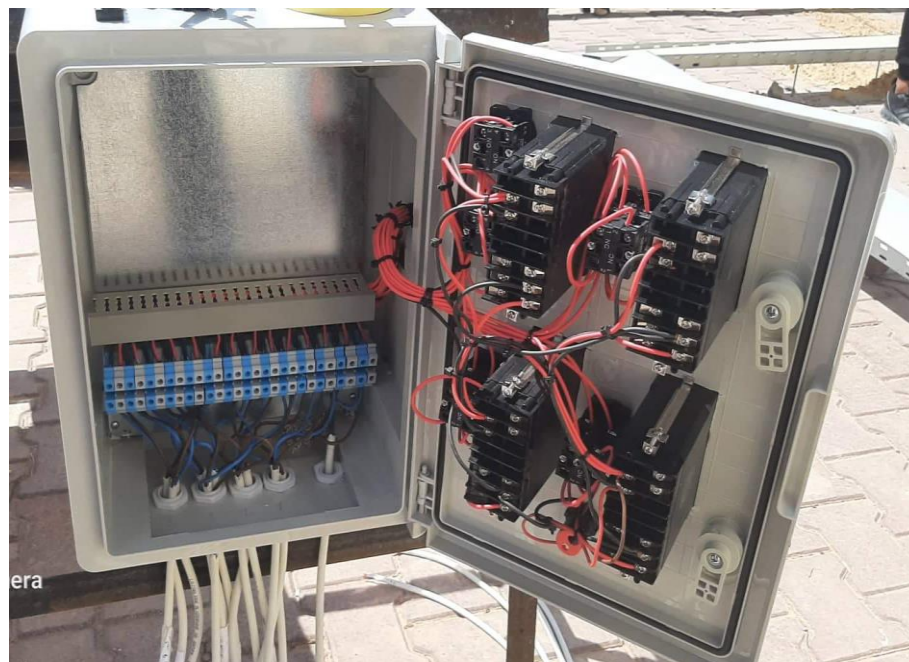
**Figure III.5:** Dimensions Dispositif de contrôleur de température intelligent mode REX-C400.



**Figure III.6:** Les composants de dispositif de contrôleur de température intelligent mode REX-C400.

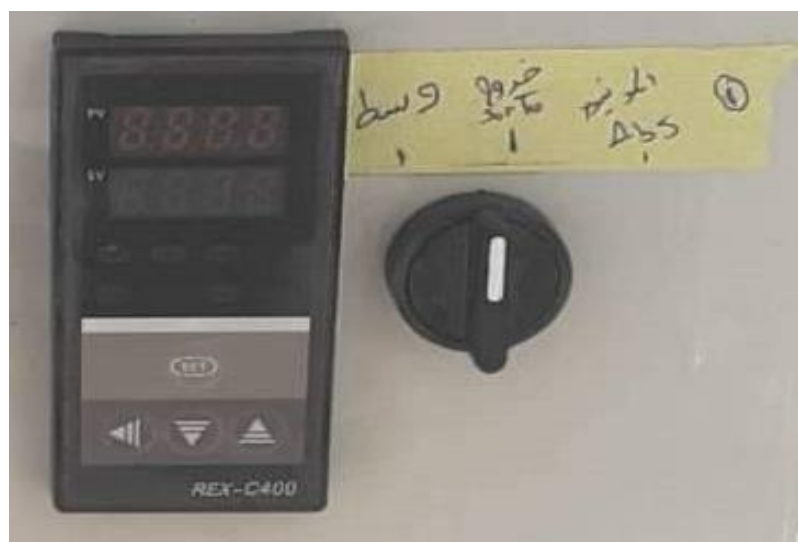
- 1- Touche de réglage (SET)
- 2- Réglage de la touche de changement de chiffre
- 3- Touche de décrémentation de la valeur définie
- 4- Touche d'incrémentement de la valeur de consigne
- 5- Unité d'affichage de la valeur mesurée (PV) (Rouge)
- 6- Unité d'affichage de la valeur de consigne (SV) (Vert)
- 7- Voyant de la première sortie de contrôle (OUT1) (Vert)
- 8- Voyant de la deuxième sortie de contrôle (OUT2) (jaune)
- 9- Témoin d'autoréglage (AT) (vert)
- 10- Voyant de première alarme (ALM1) (Rouge)
- 11- Voyant de deuxième alarme (ALM2) (rouge)

Nous connectons les thermocouples dans chaque capteur à dispositif de contrôleur de température intelligent mode Rex-c400 pour donner la température. Comme montre la photo (III.13).



**Photo III.13:** Connecter les capteurs à l'armoire de mesure de température.

La commutation entre les thermocouples de chaque capteur s'effectue au moyen d'un bouton interrupteur installé à côté de chaque dispositif de contrôleur de température intelligent mode REX-C400. Comme montre la photo (III.14).



**Photo III.14:** Dispositif de contrôleur de température intelligent mode REX-C400 et bouton interrupteur.

Après avoir terminé ce travail, nous mettons de la silicone sur tous les côtés afin d'éviter les fuites d'air photo (III.15). Nous installons la plaque de verre sur chaque capteur au moyen

d'un double ruban adhésif, qui est également isolant afin de faciliter le retrait de la plaque de verre. Ensuite, nous ajoutons une couche de ruban adhésif gris spécial qui empêche les fuites sur le verre et le fixons au capteur afin d'empêcher l'entrée et la sortie d'air. Nous avons placé les capteurs sur un support que nous avons fait de canne en fer en forme de L, longueur 2 m, largeur 1.20 m, hauteur 50 cm et angle d'inclinaison 33 degrés. Nous insérons deux vis jnsh dans l'armoire de mesure de température et les fixons au support. La photo (III.16) et la photo (III.17) montre les capteurs après leur création.



**Photo III.15:** Mettre la silicone sur tous les côtés.



**Photo III.16:** Les capteurs solaires.



**Photo III.17:** Les capteurs solaires et l'armoire de mesure de température et le support.

### III.3.Appareillages de mesures:

Les différentes mesures sont réalisées à l'aide des appareils suivants :

#### III.3.1.Mesure de la température:

Les températures ont été mesurées avec des thermocouples de type K (chromel-alumel) (10 cm de longueur), reliés à une armoire de type REX-C400. Les mesures sont prises dans plusieurs endroits : la température ambiante et entrée, sortie du capteur et à l'absorbeur. La température ambiante est mesurée à l'aide d'un thermomètre Dwyer TH 10. Les mesures sont enregistrées pendant 30 minutes.



**Photo III.18:** Emplacement des thermocouples.



**Photo III.19:** Thermomètre Dwyer.



**Photo III.20:** Mesure des températures à partir d'armoire.

### **III.3.2. Mesure de la vitesse de l'air :**

La vitesse de l'air est mesurée à l'entrée et à la sortie du capteur et la vitesse ambiante. Les vitesses ont été mesurées avec d'un anémomètre numérique (Kestrel 1000).



**Photo III.21:** Anémomètre Kestrel 1000.



**Photo III.22:** Mesure de la vitesse ambiante à partir d'un anémomètre.



**Photo III.23:** Mesure de la vitesse d'entrée du capteur à l'aide d'un anémomètre.

### III.3.3. Mesure du rayonnement solaire global:

Le rayonnement a été mesuré à l'aide d'un polarimètre (PYR1307).



**Photo III.24:** Polarimètre PYR1307.

### III.4. Résultats et interprétations :

Dans ce travail, on va vous donner les résultats expérimentaux ce que nous avons fait le jour 14 mai 2022. Ces résultats concernent essentiellement la variation des différentes températures au cours du temps, l'ensoleillement, et enfin l'efficacité instantané et journalier. Les résultats sont présentés sous forme de graphes, nous connaissons les grandeurs mesurées:

$T_e$  : Température d'entrée du capteur ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_s$  : Température de sortie du capteur ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{\text{abs}}$  : Température de l'absorbeur ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{\text{amb}}$  : Température de l'air ambiante ( $^{\circ}\text{C}$ )

$V_e$  : Vitesse de l'air à l'entrée du capteur (m/v)

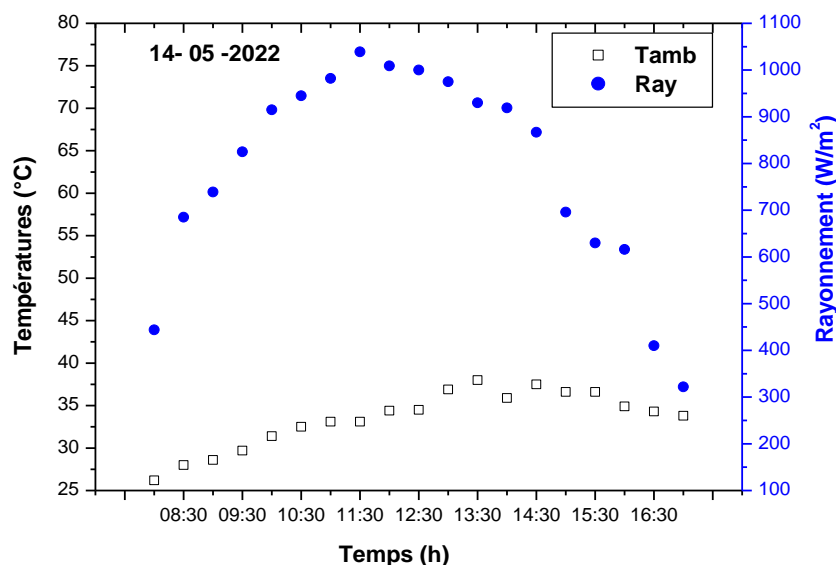
$V_s$  : Vitesse de l'air à la sortie du capteur (m/v)

$V_{\text{amb}}$  : Vitesse de l'air ambiant (m/v)

#### III.4.1. La variation du rayonnement solaire et la température de l'air ambiant :

La figure (III.7) représente la variation journalière du rayonnement solaire et la température de l'air ambiant en fonction du temps. L'allure de la température et du rayonnement solaire est identique car plus le rayonnement solaire est important, plus la température de l'air est élevée.

On remarque, le rayonnement solaire atteint une valeur maximale de  $1039 \text{ W/m}^2$  à midi (11:30). Le rayonnement solaire varie entre ( $320 - 1039 \text{ W/m}^2$ ) pendant le jour, la valeur maximale de la température de l'air ambiant est de  $38^{\circ}\text{C}$  à 13:30, elle est entre ( $26.2^{\circ}\text{C} - 38^{\circ}\text{C}$ ).



**Figure III.7:** Variation de la température de l'air ambiant, et du rayonnement solaire en fonction du temps.

### **III.4.2. La variation de la température de l'absorbeur, la température d'entrée et de sortie:**

Les figures (III.8a), (III.8b), (III.8c) montrent la variation des températures de l'air à l'entrée et à la sortie de capteur solaire et la température de l'absorbeur pour les trois capteurs. Comme montré, les températures de sortie suivent prend approximativement la même allure (montée et descente ensemble) que la température de l'absorbeur.

De 08h:00 à 13h:00 la température de l'absorbeur et la température de sortie augmentent, avec l'augmentation du rayonnement solaire, et la température de l'absorbeur atteint des valeurs maximales, puis commence à diminuer vers (16h:00).

Nous remarquons sur les figures (III.8a), (III.8b), (III.8c) que la température maximale à l'entrée de capteur était de 40,1 °C dans les trois capteurs.

Dans le cas de capteur témoin, la température maximale de l'air à la sortie de capteur était de 62 °C à 13:00, tandis qu'au niveau de l'absorbeur, la température maximale a été de 90 °C à 13:00 (Figure (III.8a)).

Dans le cas de capteur avec chicanes croisées, la température de l'air à la sortie de capteur était de valeur maximale 78 °C à 13:00, tandis qu'au niveau de l'absorbeur, la température maximale a été de 84 °C à 13:00 (Figure (III.8b)).

Dans le cas de capteur avec chicanes parallèles, la température maximale de l'air à la sortie de capteur était de 87 °C à 12:00, tandis qu'au niveau de l'absorbeur, la température maximale a été de 93 °C à 13:00 (Figure (III.8c)).

De tout cela, nous concluons qu'il existe une relation entre la température d'absorbeur et la température de sortie.

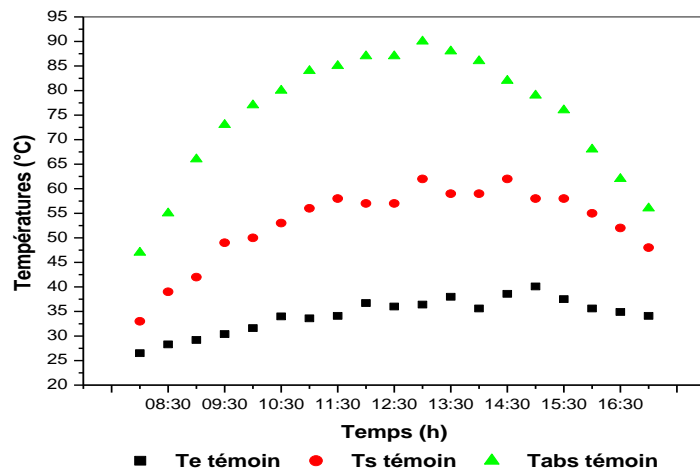


Figure III.8a: La forme de la température d'entrée, sortie de capteur solaire et la température de l'absorbeur.

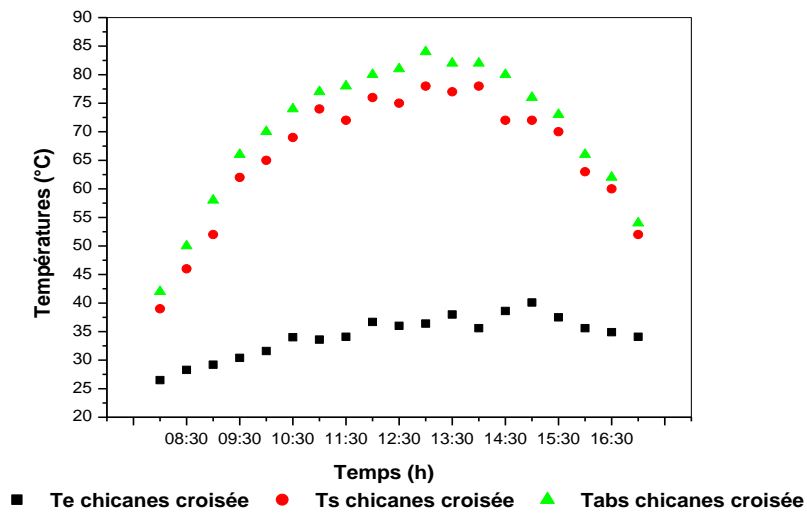


Figure III.8b: La forme de la température d'entrée, sortie de capteur solaire et la température de l'absorbeur.

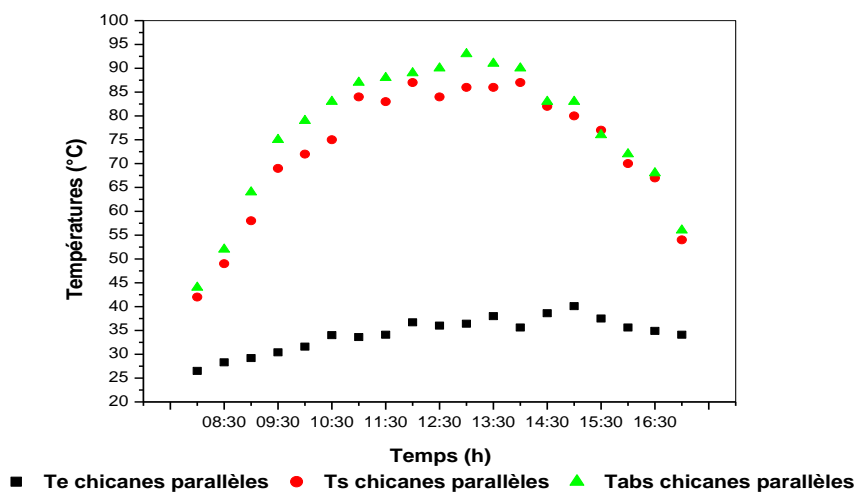


Figure III.8c: La forme de la température d'entrée, sortie de capteur solaire et la température de l'absorbeur.

### III.4.3. La température de sortie :

La variation de température à la sortie pour les trois capteurs est montrée à la figure (III.9).

Le capteur avec chicane parallèles était de température élevée, comparé avec un capteur sans chicane (témoin).

La température maximale à la sortie de capteur avec des chicanes parallèles était de 87 °C à 12 h 00, la température maximale à la sortie de capteur avec des chicanes croisées était de 78 °C à 13h00 et le capteur sans chicanes (témoin) la température maximale était de 62 °C à 14h30.

La variation de la différence de température ( $T_s - T_e$ ) pour les trois capteurs est montrée dans la figure (III.10).

La différence de température de capteur avec chicanes parallèles varie entre (15,5-51,4) et sa valeur maximale était de 51,4 °C, dans le cas de capteur avec chicanes croisées la différence de température varie entre (12,5-42,4), et la valeur maximale de 42,4 °C. La différence de température de capteur sans chicanes (témoin) varie entre (6,5-25,6) et la valeur maximale était de 25,6 °C.

Il est noté de la figure (III.10) que la différence de température entre le capteur témoin et le capteur avec des chicanes parallèles est grande et augmente à mesure que le jour approche de midi, où la différence a atteint 30 °C.

Alors que la différence de température entre le capteur témoin et le capteur avec des chicanes croisées était relativement élevée, la différence entre eux atteignant 19 °C (Figure (III.10)).

Nous remarquons de la figure (III.10) que le capteur des chicanes parallèles donne plus de chaleur que les capteurs des chicanes croisées et témoin, la différence atteint 10 °C entre le capteur des chicanes parallèles et le capteur des chicanes croisées, et la différence de température dans le cas de capteurs avec des chicanes parallèles à la plus grande différence de température, puis le capteur des chicanes croisées, puis le capteur témoin, respectivement.

Nous concluons de ce qui précède que les chicanes et la façon dont elles sont réparties dans le capteur élèvent la température à la sortie du capteur.

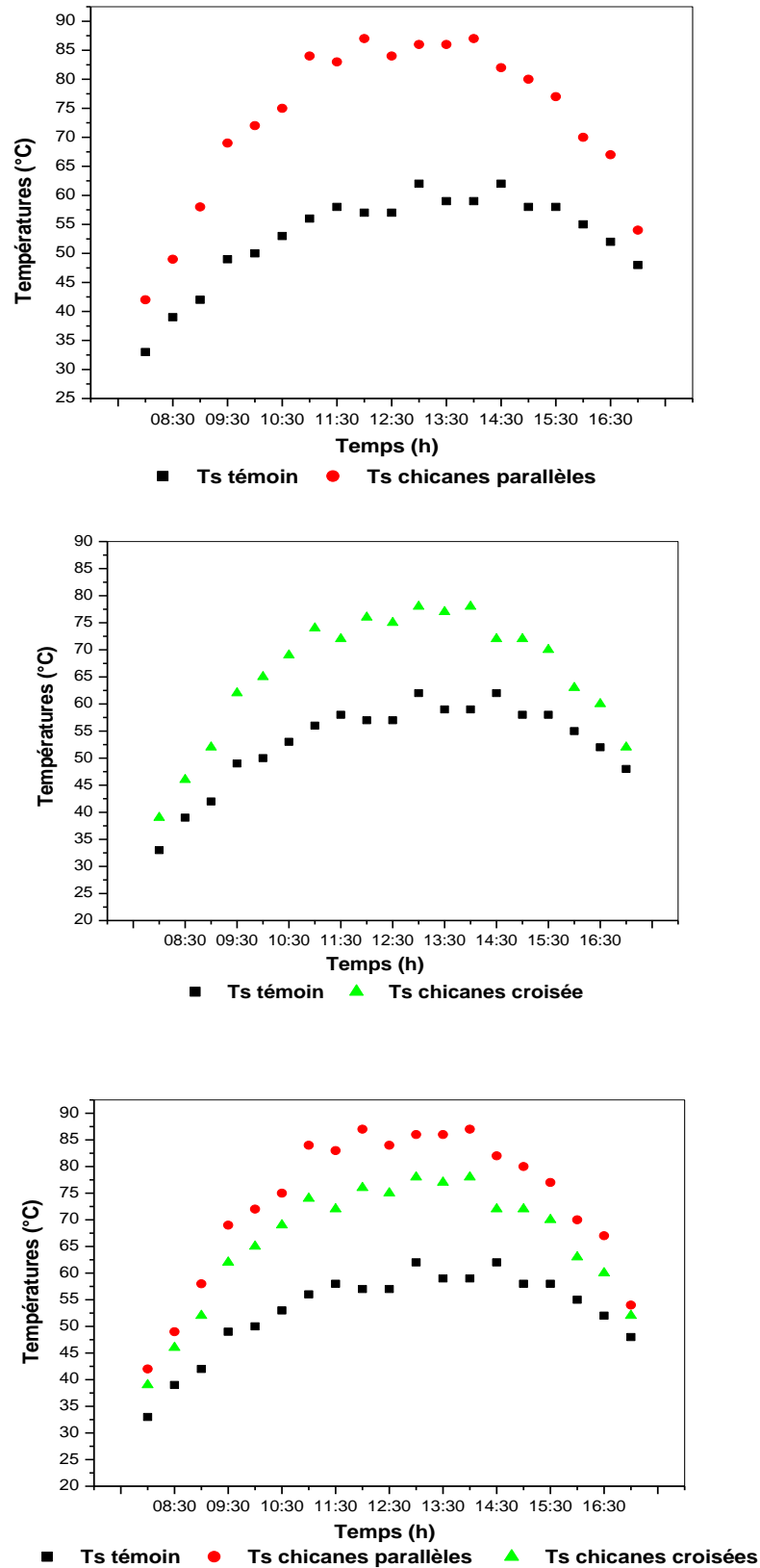


Figure III.9 : La forme de la température de sortie de trois capteurs solaires.

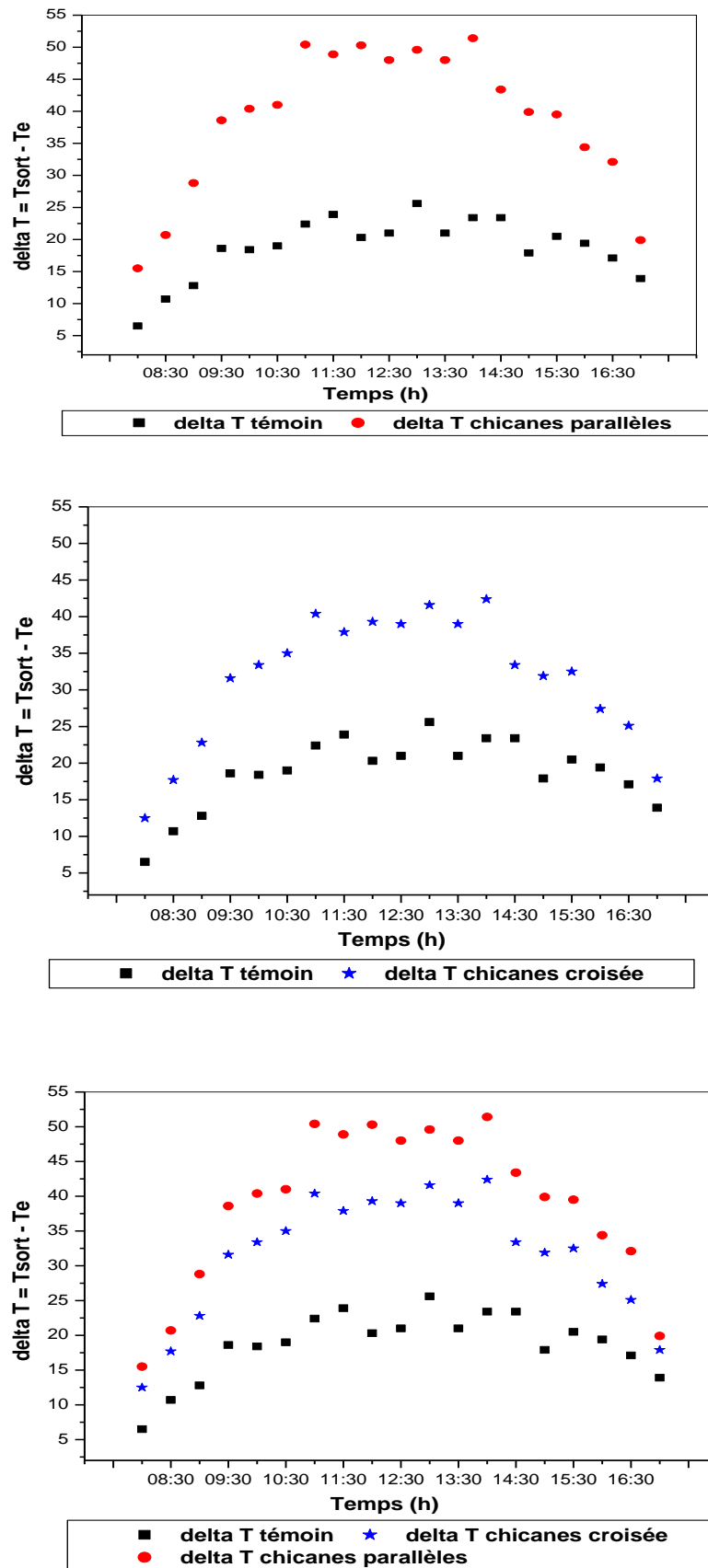


Figure III.10 : La forme de la différence de température des trois capteurs.

### III.4.4. La variation de la vitesse de l'air :

Figure (III.11) montre la variation de la vitesse pour les trois capteurs. On remarque que la vitesse de l'air fluctue pendant le jour de l'expérience.

La valeur maximale de la vitesse de l'environnement était de 2,3 m/s à 13h30. L'effet de la vitesse de l'air à la sortie du capteur témoin s'avère être souvent le plus élevé parmi les deux capteurs, suivi du capteur avec chicanes croisée puis du capteur avec chicanes parallèles.

Nous en concluons que les chicanes et leur répartition dans le capteur ont un rôle important dans l'arrêt du mouvement de la vitesse à l'intérieur du capteur.

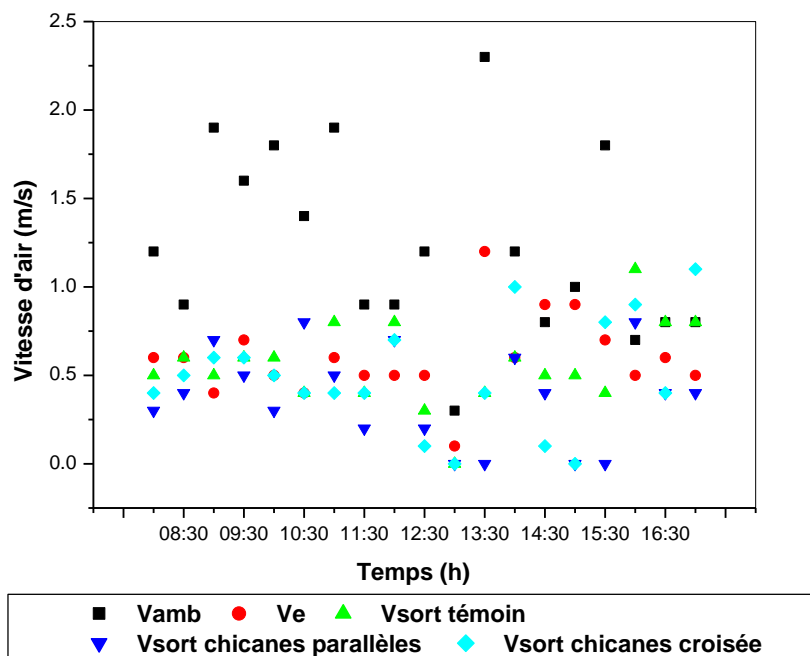


Figure III.11: La forme de la vitesse pour les trois capteurs.

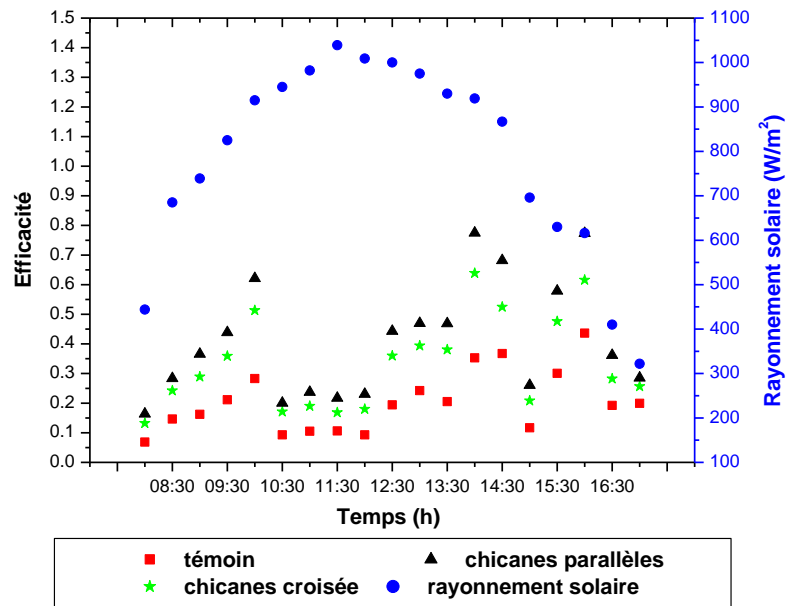
### III.4.5. Efficacité thermique des capteurs solaires :

La variation de l'efficacité thermique des capteurs solaires avec chicanes et sans chicanes est montrée dans la Figure (III.12). Le rendement thermique était de (6,86% et 36,75%) pour le capteur sans chicanes (témoin), (16,36% - 77,45%) pour le capteur avec chicanes parallèles, (13,19% - 63,89%) pour le capteur avec chicanes croisées qu'entre 10h30 et 14h00, puis elle augmente parce que le rayonnement solaire augmente. On remarque que le capteur avec chicanes parallèles a une efficacité élevée, le deuxième est le capteur avec chicanes croisées, puis capteur sans chicanes (témoin).

Le rendement thermique maximum pour le capteur avec chicanes parallèles était de 77,45 % à 14h00 et la valeur minimale était de 16,36 % à 08h00. Le rendement thermique maximum pour le capteur sans chicanes (témoin) était de 36,75 % à 14h30 et la valeur minimale était de 6,86 % à 08h00.

L'existence des chicanes homogénéise donc la distribution de la température suivant toute la veine fluide du capteur, ce qui permet d'augmenter le transfert de chaleur et par la suite améliorer le rendement du capteur solaire.

Nous concluons que les chicanes et leur distribution à l'intérieur du capteur ont un rôle important dans l'augmentation du rendement du capteur.



**Figure III.12:** La forme de l'efficacité thermique pour les trois capteurs.

### III.5. Conclusion

Les performances de trois capteurs solaires ont été étudiées, deux capteurs solaires utilisant des chicanes et un sans chicanes.

Après toute cette étude, en comparant différentes températures et efficacité des trois capteurs solaire plan à air, orienté à plein sud et incliné de  $33^\circ$ , on peut conclure de cette étude que les chicanes parallèles sont plus efficaces que les autres chicanes.

# *Conclusion générale*

## Conclusion générale

L'objectif de ce travail est la conception et la réalisation d'un capteur solaire plan à air à haut rendement.

Notre étude a porté sur l'effet des chicanes sur le rendement de capteurs solaires plan à air. Les expériences ont été réalisées dans la région d'El-oued.

Nous concluons de cette étude expérimentale que le rendement thermique du capteur avec chicane parallèle était supérieur de 53 % comparé avec du capteur sans chicane (témoin).

Les résultats obtenus à partir des différents types de capteurs solaires considérés permettent de déduire que l'introduction des chicanes au niveau de l'absorbeur est un facteur important pour l'amélioration de rendement d'un capteur. L'étude a montré qu'un capteur solaire plan avec des chicanes sous la forme rectangulaire et parallèle sur l'absorbeur, apporte une amélioration très appréciable du couple température-rendement.

En perspectives, nous proposons de poursuivre l'étude, toujours dans le but d'arriver au capteur dont le rendement est optimal, et c'est à travers quelques suggestions

- 1 - Comparaison des résultats expérimentaux avec un modèle de calcul numérique du capteur solaire.
- 2 - Changer la forme des chicanes.
- 3 - Changer l'inclinaison des chicanes.

# *Références*

Références Bibliographiques

- [1] **C. voyant**, prédiction de séries temporelles de rayonnement solaire global et de production d'énergie photovoltaïque a partir de réseaux de neurones artificiels, thèse doctorat, université de Corse-Pascal Paoli, France, (2011).
- [2] **A. Benkhelifa**. "Optimisation d'un Capteur Solaire Plan ". Rev. Energy. Ren. : Physique Energétique, (1998), pp. 13-18.
- [3] **G. Alvarez, J. Arce, L. Lira , M.R. Heras**; Thermal performance of an air solar collector with an absorber plate made of recyclable aluminum cans; Solar Energy 77 (2004) 107–113
- [4] **R.K.Swartman, O.Ogunade**; 1966. An investigation of packed bed collectors. Solar Energy 10, 106–110.
- [5] **C.Choundhury, S.L.Anderson, J.Rekstand**; 1988. A solar air heater for low temperature application. Solar Energy 40, 335–344.
- [6] **H.P.Garg, C.Choundhury, G.Datta**; 1991. Theoretical analysis of a new finned type solar collector. Energy 16, 1231–1238.
- [7] **B.F.Parker, M.R.Lindley, D.G.Colliver, W.E.Murphy**; 1993. Thermal performance of three solar air heaters. Solar Energy 6, 467–479.
- [8] **A.A.Mohamad**; 1997. High efficiency solar air heater. Solar Energy 60 (2), 71–76.
- [9] **A.Kolb, E.R.F.Winter, R.Viskanta**; 1999. Experimental studies on a solar air collector with metal matrix absorber. Solar Energy 65 (2), 91–98.
- [10] **J, Bernard**. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [11] **A, H, Khedim**. Energie solaire et son utilisation sous forme thermique et photovoltaïque, Centre de Publication Universitaire (2003).
- [12] **M,H, Sellami**. Etude et amelioration des techniques de distillation solaire dans la region sud-est Algerien (Ouargla); thèse de doctorat, Université de Ouargla. (2014).
- [13] **M, Capderou**. Atlas solaire de l'Algérie, O.P.U, Alger (1985).
- [14] **D, K, Edwards**. Capteurs solaires, Edition SCM, paris. (1979).
- [15] **J, Bonal; P, Rossetti**. Les énergies alternatives, Omniscience. (2007).
- [16] **O.Sotehi**. Etude et analyse de l'influence de l'ecart de temperature (absorbeur – vitre) sur l'efficacite d'un capteur solaire; thèse de magistère, Université de Constantine. (2007).
- [17] **N, Bellel**. Contribution à la réalisation et simulation d'un capteur plan à eau type collecteur; thèse de magistère, Université de Constantine. (1989).

- [18] **Ch, Perrin de Brichambaut; C, Vauge.** Le gisement solaire, Technique et Documentation, Paris. (1982).
- [19] **22-S, Saadi.** Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan; thèse de magistère, Université de Constantine. (2010).
- [20] **O, Sotehi.** Etude des caractéristiques de fonctionnement et de la performance d'un distillateur solaire; thèse de magistère, Université de Constantine. (2009).
- [21] **A, Mefti; M, Y, Bouroubi; H, Mimouni.** Evaluation du potentiel énergétique solaire, Bulletin des Energies Renouvelables, N°2, p 12, décembre. (2002).
- [22] **K, Merzouk.** Potentiel énergétique éolien, Bulletin des Energies Renouvelables, N°1, p 11, Juin. (2002).
- [23] **P, H, Communay.** Héliothermique : le gisement solaire, méthodes et calculs, Groupe de Recherche et d'Édition, France. (2002).
- [24] [Www.climatsetvoyages.com](http://www.climatsetvoyages.com) .
- [25] [Www.ogimet.com](http://www.ogimet.com) .
- [26] **N, Bellel.** Etude des transferts thermiques le long d'un tube cylindrique appliquée à deux géométries ; thèse de doctorat, Université de Constantine. (2004).
- [27] **A.M. Lanjewar, J.L. Bhagoria and R.M. Sarviya;** Heat transfer enhancement in solar air heater; Indian Journal of Science and Technology; Vol. 3 No. 8 ;Aug 2010.
- [28] **S,M,E,BEKKOUCHE.** Modélisation du comportement thermique de quelques dispositifs solaires; thèse de doctorat, Université de Tlemcen. (2009).
- [29] **R, Bernard; G, menguy; M, Schwartz.** Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications, Technique et Documentation (1979).
- [30] **J, Desautel.** Les capteurs héliothermiques, Edisud. (1979).
- [31] **M. Mogharbi; D.Halassa;** Conception et réalisation d'un capteur solaire plan à air, thèse de magistère, Université de Ouargla. (2011).
- [32] **A, A, Zaid; A, Moulla; M, S, Hantala; J, Y, Demsons.** Amélioration des performances des capteurs solaires plans à air: application au séchage de l'oignon jaune et du hareng, Revue des Energies Renouvelables, vol 4, p 69-78. (2001).
- [33] **F, Benyelles; B, Benabadjia; B, Benyoucef; Z, Ziani.** Comparaison entre un capteur à aérogel de silice et d'autres capteurs plans, 13èmes Journées Internationales de Thermique. (2007).
- [34] **K, Aoues; N, Moumami; A, Moumami; M, Zellouf; A, Labed; E, Echouri.** 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, p219-227. (2008).

[35] **K, Aoues; N, Moummi; M, Zellouf; A, Moummi; A, Labed; E, Achouri ; A, Benchabane.** Amélioration des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air : étude expérimentale dans la région de Biskra, Revue des Energies Renouvelables, vol 12, N°2, p 237-248. (2009).

[36] **A, Labed; N, Moummi; K, Aoués; M, Zellouf; A, Moummi.** Etude théorique et expérimentale d'un capteur solaire plan à air muni d'une nouvelle forme de rugosité artificielle, Revue des Energies Renouvelables, Vol 12, n° 4, p 551-561. (2009).

[37] **K, Aoues; N, Moummi; A, Moummi; M, Zellouf; A, Labed; E, Echouri.** 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, p219-227. (2008).