

## Sommaire

<b>Introduction général</b> .....	01
<b>Chapitre I : Recherche bibliographique</b>	
I.1 Introduction .....	03
I.2 Étude bibliographique.....	03
I.3 Conclusion.....	08
<b>Chapitre II : Le gisement solaire</b>	
II.1 Introduction.....	09
II.2 Le soleil.....	09
II.3 Structure du soleil.....	10
II.3.1 La photosphère.....	11
II.3.2 La chromosphère.....	11
II.3.3 La couronne solaire .....	11
II.3.4 l'intérieur.....	12
II.3.5 Le cœur ou noyau.....	12
II.3.6 L'héliosphère.....	12
II.3.7 La zone de radiation.....	12
II.3.8 La zone de convection.....	13
II.4 Le mouvement de la terre.....	13
II.5 Caractéristiques de la terre.....	14
II.6 Position du soleil par rapport à la terre.....	14
II.6.1 Repérage d'un site à la surface de la terre.....	14
II.6.2 Repère de coordonnées équatoriales.....	15
II.6.3 Repère de coordonnées horizontales.....	16
II.6.4 Orientation d'un plan.....	17
II.6.5 Angle d'incidence sur un plan.....	17
II.7 L'atmosphère terrestre.....	17
II.7.1 Atténuation du rayonnement solaire.....	18
II.8 Temps solaires.....	18
II.8.1 Temps solaire vrai (TSV).....	18
II.8.2 Temps solaire moyen(TSM).....	18

II.8.3 Le temps universel.....	19
II.8.4 Temps légal (TL) .....	19
II.8.5 Equation du temps.....	19
II.8.6 Durée de jour.....	20
II.9 Le rayonnement solaire.....	20
II.9.1 Composante du rayonnement solaire.....	21
II.9.2 Le rayonnement solaire reçu au niveau du sol.....	22
II.10 Constante solaire « I0».....	23
II.11 L'albédo.....	23
II.12 Le gisement solaire en Algérie.....	24
II.13 Conclusion .....	26

### **Chapitre III : Généralité sur les capteurs solaires**

III.1 Introduction.....	27
III.2 Les capteurs plans .....	27
III.3 Fonctionnement d'un capteur solaire plan.....	27
III.4 Types de capteurs solaires plans.....	28
III.4.1 Capteurs plan à air .....	28
III.4.1.1 Différents types des capteurs solaires plans à air .....	28
1- capteurs à absorbeur plan.....	29
2- capteurs à absorbeur à géométrie variable.....	29
3- capteurs à absorbeur perméable.....	29
III.4.2 Capteur plan à eau.....	30
III.4.3 Capteur sous vide .....	31
1 - Circulation directe.....	32
2 - Capteur à caloduc.....	32
3 - Capteur de type "Sydney".....	33
4- Capteur à tube sous vide "Schott".....	33
III.5 Constituants d'un capteur solaire plan.....	33
III.5.1 L'absorbeur.....	34
III.5.2 Les vitres.....	34
III.5.3 Le fluide caloporteur.....	34
III.5.4 Le coffre.....	35
III.5.5 L'isolation.....	35

III.6 Applications des capteurs solaires plans à air.....	36
III.6.1 Chauffages et climatisations des habitations.....	36
III.6.2 Le séchage .....	36
III.7 Les différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire.....	37
III.7.1 La convection.....	37
III.7.2 La conduction.....	38
III.7.3 Le rayonnement.....	38
III.8 L'effet de serre.....	39
III.9 Le bilan thermique d'un capteur solaire plan.....	40
III.9.1 Bilan thermique global de la paroi absorbante.....	40
III.9.2 Rendement du capteur .....	41
III.9.3 Coefficients des pertes thermiques du capteur solaire.....	42
III.9.3.1 Coefficients de pertes thermiques vers l'avant .....	42
III.9.3.2 Coefficient de pertes thermique vers l'arrière.....	44
III.9.3.3 Coefficient de pertes thermiques latérales.....	44
III.10 Conclusion.....	44

## **Chapitre IV : Etude expérimentale**

IV.1 Introduction.....	45
IV.2 Données du lieu .....	45
IV.3 Constituant du dispositif .....	46
IV.4 Paramètre et caractéristiques du capteur solaire.....	46
IV.5 dimensionnement d'extracteur.....	48
IV.6 Equipements pour la réalisation.....	49
IV.7 Préparation de l'extracteur.....	50
IV.8 Placement de l'extracteur sur le capteur .....	51
IV.9 Placement de ventilateur .....	52
IV.10 Fixation du capteur .....	53
IV.11 Description des appareils de mesure.....	55
IV.11.1 Mesure de l'éclairement .....	56
IV.11.2 Mesure des températures.....	56
IV.11.3 L'acquisition de données.....	56
IV.11.4 Variateur de tension.....	56
IV.12 Conclusion .....	57

## **Chapitre V : Résultat et interprétation**

V.1 Introduction.....	58
V.2 Notation des thermocouples.....	59
V.3 Présentation de «ORIGIN 9».....	60
V.4 Résultats.....	61
V.4.1 Configuration N-1.....	61
V.4.1.1 Variation du rayonnement incident du 09/03/2017.....	62
V.4.1.2 Variation de température du 09/03/2017.....	63
V.4.1.3 Variation du rayonnement incident du 10/03/2017.....	64
V.4.1.4 Variation de température du 10/03/2017.....	65
V.4.1.5 Variation du rayonnement incident du 11/03/2017.....	66
V.4.1.6 Variation de température du 11/03/2017.....	67
V.4.1.7 Effet de la vitesse d'écoulement sur la température .....	68
V.4.2 Configuration N-2.....	69
V.4.2.1 Variation du rayonnement incident du 13/03/2017.....	70
V.4.2.2 Variation de température du 13/03/2017.....	71
V.4.2.3 Variation du rayonnement incident du 14/03/2017.....	72
V.4.2.4 Variation de température du 14/03/2017.....	73
V.4.2.5 Variation du rayonnement incident du 15/03/2017.....	74
V.4.2.6 Variation de température du 15/03/2017.....	75
V.4.2.7 Effet de la vitesse d'écoulement sur la température.....	76
V.4.3 Configuration N-3.....	77
V.4.3.1 Variation du rayonnement incident du 16/03/2017.....	78
V.4.3.2 Variation de température du 16/03/2017.....	79
V.4.3.3 Variation du rayonnement incident du 17/03/2017.....	80
V.4.3.4 Variation de température du 17/03/2017.....	81
V.4.3.5 Variation du rayonnement incident du 18/03/2017.....	82
V.4.3.6 Variation de température du 18/03/2017.....	83
V.5 Interprétations.....	84
V.6 Conclusions .....	85
<b>Conclusion général.....</b>	<b>86</b>



## Liste des figures

### Chapitre I

Figure I.1 Absorbeur de compensation à ailettes rectangulaires.....	03
Figure I.2 Capteur avec des chicane rectangulaires sur la plaque inférieure en bois .....	04
Figure I.3 Représentation des trois types de capteurs considérés.....	06
Figure I.4.1 Dispositif expérimental.....	07
Figure I.4.2 Schéma descriptif des chicanes.....	07
Figure I.5 Capteur solaire à air de v-absorbeur.....	08

### Chapitre II

Figure II.1 Structure du soleil en coupe.....	10
Figure II.2 photosphère.....	11
Figure II.3 chromosphère.....	11
Figure II.4 couronne solaire.....	11
Figure II.5 Mouvement de la terre autour du soleil.....	13
Figure II.6 Repérage d'un site sur la surface terrestre.....	15
Figure II.7 Repère de coordonnées azimutales.....	16
Figure II.8 Le spectre solaire.....	20
Figure II.9 Répartition de rayonnement solaire.....	21
Figure II.10 rayonnement global.....	22
Figure II.11 Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel.....	24
Figure II.12 Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné a la latitude du lieu.....	25
Figure II.13 Répartition territoriale des stations météorologiques.....	25

### Chapitre III

Figure III.1 Principe de fonctionnement du capteur solaire plan.....	28
Figure III.2 Principales géométries d'absorbeur.....	29
Figure III.3 Capteurs à absorbeur perméable.....	30
Figure III.4 Capteur plan à eau.....	31
Figure III.5 Capteur sous vide.....	31
Figure III.6 Capteurs solaires à tube sous vide.....	32

Figure III.7 Composants d'un capteur solaire plan.....	33
Figure III.8 Chauffage et climatisation des habitations.....	36
Figure III.9 Séchoir solaire.....	36
Figure III.10 Les différents échanges thermiques dans un capteur plan.....	37
Figure III.11 Principe de l'effet de serre.....	39

## **Chapitre IV**

Figure IV.1 La géométrie d'extracteur .....	47
Figure IV.2 Les cinq vues de l'extracteur.....	48
Figure IV.3 Outils utilisée pendant la réalisation pratique.....	49
Figure IV.4 Préparation d'extracteur.....	50
Figure IV.5 Placement de l'isolation (polystyrène).....	50
Figure IV.6 Placement de l'extracteur.....	51
Figure IV.7 Placement de ventilateur.....	52
Figure IV.8 Support de fixation.....	53
Figure IV.9 Fixation de capteur sur le support.....	54
Figure IV.10 Appareils de mesure .....	55
Figure IV.11 pyranomètre.....	56
Figure IV.12 Les thermocouples et le module.....	56
Figure IV.13 L'acquisition.....	56
Figure IV.14 Régulateur.....	56

## **Chapitre V**

Figure V.1 Section transversale du capteur solaire.....	59
Figure V.2 Schéma de la veine(2) d'écoulement du capteur.....	61
Figure V.3 Evolution du rayonnement solaire global incliné pour la journée de 09/03/2017.....	62
Figure V.4 Evolution des températures (09/03/2017).....	63
Figure V.5 Evolution du rayonnement solaire global incliné pour la journée de 10/03/2017.....	64
Figure V.6 Evolution des températures (10/03/2017).....	65
Figure V.7 Evolution du rayonnement solaire global incliné pour la journée de 11/03/2017.....	66
Figure V.8 Evolution des températures (11/03/2017).....	67
Figure V.9 Evolution des trois températures de sortie pour les trois vitesses du ventilateur .....	68
Figure V.10 Schéma de la veine(1) d'écoulement du capteur.....	69
Figure V.11 Evolution du rayonnement solaire global incliné pour la journée de 13/03/2017.....	70

Figure V.12 Evolution des températures (13/03/2017).....	71
Figure V.13 Evolution du rayonnement solaire global incliné pour la journée de 14/03/2017.....	72
Figure V.14 Evolution des températures (14/03/2017).....	73
Figure V.15 Evolution du rayonnement solaire global incliné pour la journée de 15/03/2017.....	74
Figure V.16 Evolution des températures (15/03/2017).....	75
Figure V.17 Evolution des trois températures de sortie pour les trois vitesses du ventilateur.....	76
Figure V.18 Schéma des deux veines .....	77
Figure V.19 Evolution du rayonnement solaire global incliné pour la journée de 16/03/2017.....	78
Figure V.20 Evolution des températures (16/03/2017).....	79
Figure V.21 Evolution du rayonnement solaire global incliné pour la journée de 17/03/2017.....	80
Figure V.22 Evolution des températures (17/03/2017).....	81
Figure V.23 Evolution du rayonnement solaire global incliné pour la journée de 18/03/2017.....	82
Figure V.24 Evolution des températures (18/03/2017).....	83

## **Liste des tableaux**

### **Chapitre II**

Tableau II.1 Caractéristiques principales de soleil.....	10
Tableau II.2 Caractéristiques principes de la terre.....	14
Tableau II.3 Numéro caractéristique de début de chaque mois.....	19
Tableau II.4 Albédo pour différentes surfaces.....	23
Tableau II.5 Ensoleillement reçu en Algérie par régions.....	24

### **Chapitre III**

Tableau III.1 Caractéristiques thermo-physiques de matériaux métalliques.....	34
Tableau III.2 Propriétés thermiques de quelques matériaux isolants.....	35

### **Chapitre IV**

Tableau IV.1 paramètre Caractéristique du capteur .....	46
---	----

## Nomenclature

$\Phi$ : latitude .....	[°]
Le : longitude .....	[°]
L'altitude.....	[m]
$\delta$ : La déclinaison .....	[°]
j : numéro du jour	
$\omega$ : Angle horaire .....	[°]
h : La hauteur du soleil.....	[m]
a : Azimut du soleil .....	[°]
$\alpha$ : azimut du plan .....	[°]
$\gamma$ : hauteur du plan .....	[°]
i : Angle d'incidence sur un plan .....	[°]
TSV : Temps solaire vrai .....	[Seconde]
TSM : Temps solaire moyen .....	[Seconde]
ET : l'équation du temps	
TU : Le temps universel .....	[Seconde]
TL : Temps légal.....	[Seconde]
C: décalage horaire	
d : Durée de jour .....	[h]
S : Le rayonnement direct .....	[W/m <sup>2</sup> ]
D : Le rayonnement diffus.....	[W/m <sup>2</sup> ]
Ray : Le rayonnement global .....	[W/m <sup>2</sup> ]
I <sub>0</sub> : Constante solaire .....	[W/m <sup>2</sup> ]
$\phi_{sa}$ Flux solaire absorbé .....	[W]
$\phi_p$ : Flux perdu par la paroi absorbante.....	[W]
$\phi_u$ : Flux utile transmis au fluide caloporteur.....	[W]
$\phi_{st}$ : Flux stocké dans le capteur .....	[W]
T : Température.....	[C°]
t : Temps.....	[h]
G*( i, $\gamma$ ) : Eclairement solaire incident sur le capteur .....	[W.m <sup>2</sup> ]
$\alpha_{ps}$ : Coefficient d'absorption	
$\tau_{cs}$ : Coefficient de transmission	
S : Surface.....	[m <sup>2</sup> ]
Ut : Coefficients de pertes thermiques vers l'avant.....	[W/m <sup>2</sup> k]

$U_{lat}$	: Coefficient de pertes thermiques latérales .....	[W/m <sup>2</sup> k]
$U_b$	: Coefficient de pertes thermiques vers l'arrière .....	[W/m <sup>2</sup> k]
hw	: coefficient du transfert thermique du vent .....	[W/m <sup>2</sup> k]
$h_r$	: Coefficient d'échange thermique par rayonnement .....	[W/m <sup>2</sup> k]
Te1	: température de l'air à l'entrée du capteur 1 .....	[C°]
Te2	: température de l'air à l'entrée du capteur 2.....	[C°]
Tp1	: température de la plaque absorbante vers le bas.....	[C°]
Tp2	: température de la plaque absorbante vers le haut.....	[C°]
Tv	: température de vitrage du capteur.....	[C°]
Ts	: température de l'air à la sortie.....	[C°]

## Résumé

Dans le cadre de ce travail, nous avons entrepris une étude expérimentale d'un capteur solaire plan à air double passe sans recirculation d'air fonctionnant en convection forcée.

Cette étude a été réalisée au niveau du site Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien (URER-MS) d'Adrar, pendant trois semaines (du 26/02/2017 au 18/03/2017) sous ensoleillement naturel.

Cette étude montre que la température de sortie du fluide caloporteur décroît avec l'augmentation du débit et que le rendement du capteur dont l'entrée de l'air s'effectue par le bas (absorbeur-isolateur) est plus élevé que celui du capteur dont l'entrée de l'air s'effectue par le haut (vitre-absorbeur). C'est la preuve d'une bonne isolation thermique et les pertes vers le bas sont négligeables.

Notre conception a permis d'obtenir des températures du fluide intéressante à la sortie, favorables pour les exploiter dans le préchauffage et le chauffage des bâtiments. Nous estimons que le capteur tel qu'il a été réalisé est relativement efficace.

**Mots clés :** convection forcée, capteur solaire plan à air double passe.

## Abstract

As part of this work, we undertook an experimental study of a dual pass airplane solar collector without recirculation of air operating in forced convection.

This study was carried out at the site of the Unit of Research in Renewable Energies in the Saharan Environment (URER-MS) of Adrar, during three weeks (from 26/02/2017 to 18/03/2017) under natural sunlight.

This study shows that the outlet temperature of the heat transfer fluid decreases with the increase of the flow rate and that the efficiency of the sensor whose air intake is from the bottom (absorber-insulator) is higher than that of the sensor whose air intake is made from the top (absorber-glass). This is proof of good thermal insulation and the losses down are negligible.

Our design has made it possible to obtain favorable fluid temperatures at the outlet, favorable for use in preheating and heating of buildings. We believe that the sensor as it is realized is relatively efficient.

**Keywords:** Forced convection, Double pass solar collector.

## ملخص

يهتم هذا العمل بتفسير نتائج دراسة تجريبية طبقت على مستقبل شمسي يحتوي على قناتين للهواء ؛ الاولى بين الزجاج و المعدن و الثانية بين المعدن و العازل ؛ يعمل هذا المستقبل بنظام الحمل الحراري الاجباري .

أجريت هذه الدراسة على مستوى وحدة البحث في الطاقات المتجددة في الوسط الصحراوي التابعة لولاية ادرار و دامت حوالي ثلاث أسابيع.

الهدف من هذه الدراسة هو محاولة تحسين الاداء الحراري لهذا المستقبل و المقارنة بين قناتي الهواء . لاحظنا خلال هذه الدراسة تأثيرا عكسيا لتزايد سرعة التدفق على درجة حرارة الهواء الخارجة من المستقبل . كما لاحظنا ايضا فعالية اكثر للقناة الثانية بالنسبة للقناة الاولى وهذا دليل على ان العازل يقوم بدوره كما ينبغي .

**الكلمات الدلالية :** الحمل الحراري الاجباري؛ مستقبل شمسي يحتوي على قناتين للهواء.



*Introduction Générale*



## **Introduction générale**

On peut définir l'énergie comme tout ce qui permet d'effectuer un travail, de produire de la lumière, de la chaleur ou un mouvement.

Le mot « énergie » vient du bas-latin (energia) qui vient lui-même du grec ancien ” ἐνέργεια ” energeia, qui signifie « force en action».[1]

Dans le monde, il existe différentes sources d'énergies utilisables afin de pouvoir répondre aux nombreuses demandes de la population mondiale, qui elle, augmente de jours en jours.

Ces demandes énergétiques concernent les transports, le chauffage, ainsi que l'utilisation du téléphone ou même de la télévision. Cette utilisation de l'énergie a permis une amélioration du niveau de vie des populations des pays développés.

Les énergies renouvelables ont connu une première phase de développement à l'occasion des chocs pétroliers de 1973 et 1978, puis une période de repli après le contrechoc de 1986, avant de retrouver un second souffle en 1998 après la signature du protocole de Kyoto qui prévoit une baisse de 5.2% des émissions des gaz à effet de serre des pays riches sur la période de 2002-2012 par rapport à 1990.[2]

L'énergie renouvelable la plus dominante est l'énergie solaire qui assure la vie sur terre, et qui a été exploitée par l'homme depuis très longtemps, sous diverses formes.

L'application de l'énergie solaire peut être regroupée en deux catégories principales : les applications à hautes températures (les concentrateurs solaires et capteurs solaires sous vide), et les applications à basses températures : (les Capteurs solaire à air).

Les capteurs à air peuvent être utilisés dans beaucoup d'applications nécessitant des températures basses et modérées, telles que le chauffage des locaux, le séchage des produits agricoles, le séchage du bois, le séchage des briques, etc.

Le transfert de chaleur par convection est l'un des modes de transfert de chaleur que l'on rencontre fréquemment dans de nombreuses applications industrielles.

La convection forcée est un phénomène de transfert thermique associé aux écoulements de fluide. La présence de la convection forcée influe simultanément sur les champs thermiques et hydrodynamiques ; le problème est ainsi couplé.

La convection forcée dans des géométries complexes trouve son importance dans de nombreuses applications industrielles et plus particulièrement dans les réacteurs nucléaires, les échangeurs de chaleur, les capteurs solaires, le refroidissement des turbomachines et des composants électroniques. [3]

L'objectif de ce travail est l'optimisation de l'écoulement forcé dans la veine d'air d'un capteur solaire plan à air. La réalisation et les expériences ont été faites dans la station de l'unité de recherche des énergies renouvelables en milieu saharien (URER.MS) dans la wilaya d'Adrar.

Le présent mémoire comporte cinq chapitres :

Le premier chapitre est une synthèse bibliographique sur les différents travaux réalisés sur les capteurs solaires.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude du gisement solaire avec quelques notions et définitions astronomiques, couramment utilisées dans tout domaine relatif au solaire.

Dans le troisième chapitre, nous procéderons à l'étude théorique d'un capteur solaire plan. Nous avons donné un bilan thermique de ce dernier.

Le quatrième chapitre concrète les différentes expériences montées sur le capteur dans différentes journées comme étant des essais.

Le dernier chapitre, est la partie la plus importante de ce mémoire. Elle comporte l'interprétation des résultats expérimentaux obtenus dans les configurations étudiées.

En fin, le mémoire est clôturé par une conclusion générale et une annexe.



# ***CHAPITRE I***

***Recherche bibliographique***

## I.1 Introduction

Dans notre projet nous sommes obligés d'avoir des connaissances telles que les notions de base pour poursuivre notre travail et atteindre le but d'une manière scientifique et objective des connaissances sur les capteurs solaires plan à air.

Ce chapitre représente le résumé des articles scientifiques sur les technologies utilisées sur les capteurs solaires plan à air dans le but d'améliorer leurs performances et l'efficacité. Ces études sont de natures numériques et expérimentales.

## I.2 Étude bibliographique

**S. Youcef-Ali et al [5]**, leur travail consiste à introduire des ailettes de forme rectangulaires dans la veine d'air mobile du capteur solaire. L'objectif principal de cette étude est d'augmenter la surface d'échange totale afin d'améliorer les performances thermiques Fig. (I-1).

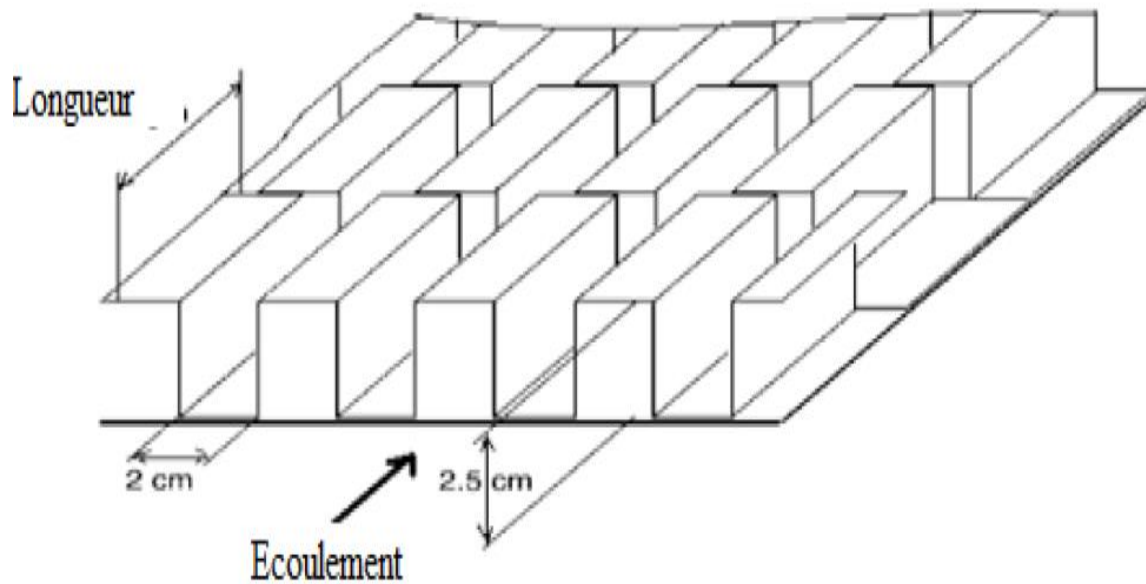


Figure I.1 Absorbeur de compensation à ailettes rectangulaires

N.Moumami et al [6], leur travail s'est intéressé au capteurs plans à air avec des chicane rectangulaires placées perpendiculairement sur le plan d'écoulement dans la veine fluide mobile du conduit, ce qui a permis de produire au sein de la lame d'air un courant plus turbulent entre l'absorbeur et la plaque arrière en bois arrière, ce qui a aboutit à une amélioration du rendement de ces capteurs solaires et le coefficient du transfert. Fig. (I-2).

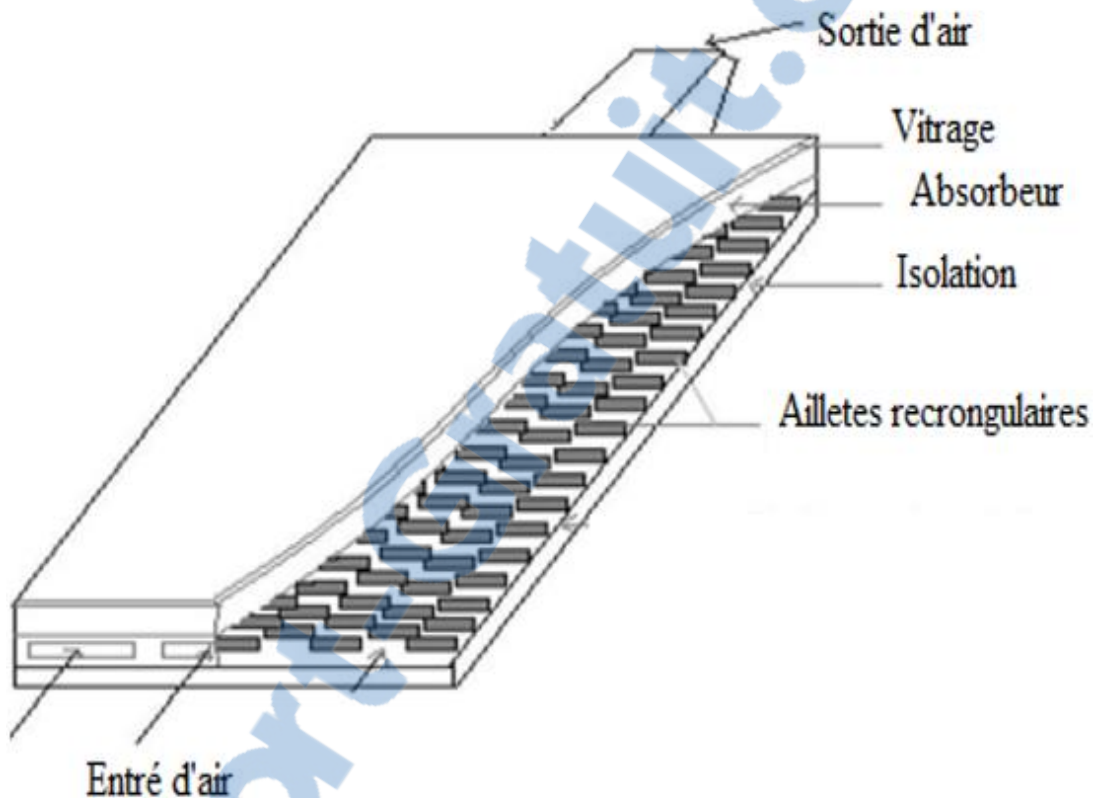


Figure I.2 Capteur avec des chicane rectangulaire sur la plaque inférieure en bois

K. Sopian et al [7], ont présenté une étude expérimentale sur le rendement thermique d'un capteur solaire à double passe avec milieu poreux placé dans le deuxième canal. Ils ont étudié les effets du débit d'air, et de rayonnement solaire sur le rendement thermique. Ils ont trouvé que, la présence du milieu poreux augmente la surface de transfert thermique d'où l'augmentation de la température de sortie, et que le capteur solaire à double passes a des performances thermiques plus élevées que celui à seule passe.

**Ahmad Fudholi et al [8]**, ont étudié les performances d'un capteur solaire à air à ailettes et à double passage. Il s'agit d'une partie théorique et étude expérimentale pour étudier l'effet du débit massique et le rayonnement solaire sur les performances. Un état d'équilibre implique une solution pour déterminer la température de sortie qui a été obtenue pour les équations de bilan énergétique.

Les résultats de cette étude montrent que le capteur solaire à air à double passe avec des ailettes a une efficacité plus que 75% pour un débit massique de 0.072% et une radiation solaire de 788w/m<sup>2</sup>. L'efficacité du capteur solaire est dépend du débit massique et de la radiation solaire.

**A.Ahmed-Zaid et al [9]**, l'utilisateur est amené à apporter des améliorations surtout dans la veine d'écoulement pour une meilleure efficacité thermique.

Le travail porte sur l'étude de l'écoulement d'air dans la veine fluide d'un capteur solaire plan. Le principe de cette technique est de faire circuler le fluide caloporteur sur tout l'espace entre l'absorbeur et la plaque isolante le plus longtemps possible.

**Zerrouki et al [10]**, ont rapporté dans leur travail une modélisation mathématique d'un capteur solaire à air de conception conventionnelle à deux passes (circulation d'air de part et d'autres de l'absorbeur). Ils ont étudié le cas où le capteur est dans un état tel que les conditions de BLISS sont respectées. Un bilan thermique a été établi respectivement sur la couverture transparente, l'absorbeur puis l'isolation thermique arrière. La résolution du système d'équations était obtenue.

**Ben Slama Romdhane et al [11]**, ont réalisé des études à l'Université de Valenciennes-France, Laboratoire de Aérodynamique, énergétique et environnementale (dénomination actuelle), ont été particulièrement intéressés par un autre facteur: la création de la turbulence dans les canaux d'air en utilisant des obstacles ou des chicane. L'efficacité atteint 80% pour un débit d'air de 50 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>, permettant une augmentation de température de 70° C.

Toutes les configurations de chicane sont soumis à des visualisations de flux d'air, la mesure de la pression baisse et l'efficacité énergétique instantanée. La meilleure configuration est celle qui permet la trajectoire s'étendant de l'écoulement d'air et augmente la vitesse de l'air dans le collecteur et donc le transfert de chaleur.

O. Turgut, N. Onur et al [12], ont étudié expérimentalement et numériquement la détermination des coefficients thermiques moyens pour une convection forcée au dessus de la surface d'un capteur solaire. Les simulations numériques ont été obtenues par le code Fluent, et l'étude expérimentale a été effectuée par l'utilisation du transfert de chaleur. Les coefficients de transfert de masse ont été convertis en coefficients de transfert thermique par une analogie entre ces deux processus. Les résultats expérimentaux sont comparés avec les résultats numériques. Ils ont observé que les deux résultats sont harmonieux entre eux, dans cette étude, des nouvelles corrélations ont été présentées pour le nombre de Nusselt avec une erreur de 12 %.

D'après une étude expérimentale réalisée par Mokhtari et al [13] sur des différentes configurations de capteur solaire a air le but est tester la performance en deux régimes, convection naturelle et convection forcée. Trois configurations de capteurs (a, b et c) sont représentées, la campagne de mesures a été effectuée au site de Bouzaréah (C.D.E.R) durant six jours pour les deux modes de circulation de l'air dans le capteur. Alors, les résultats de ces dernières ont conclu que le rendement a une variation logique. Seulement le point de 13h, on remarque la chute du rendement malgré l'importance du  $\Delta T$ , ceci peut être expliqué par la faible vitesse de l'air en ce point. La courbe de la température de sortie du fluide suit une évolution logique en fonction de l'évolution du flux solaire. Fig. (I-3).

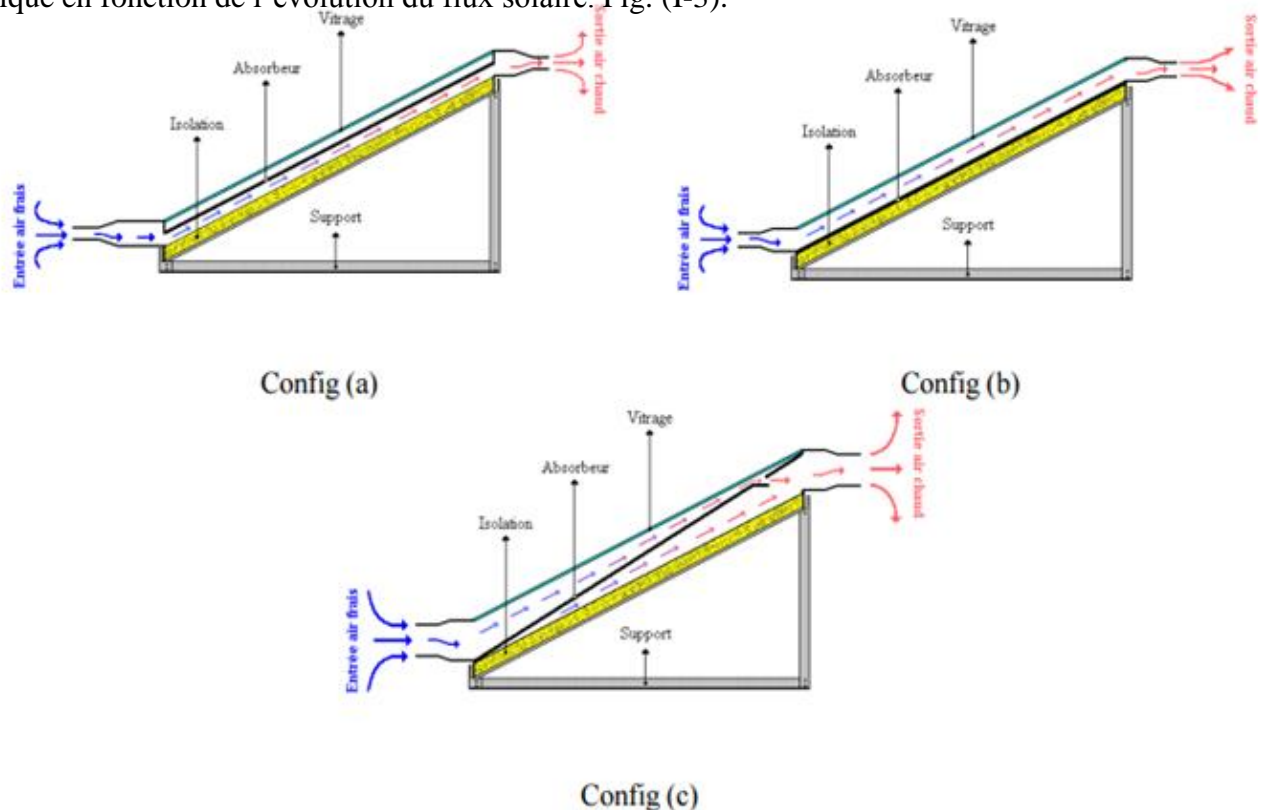


Figure I.3 Représentation des trois types de capteurs considérés

Dans le but d'améliorer les performances des capteurs solaires à air, **K. Aoues et al [14]** 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.

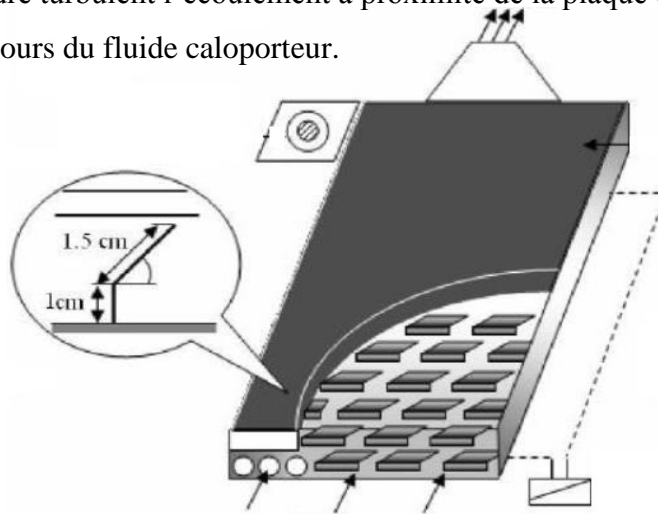


Figure I.4.1 Dispositif expérimental

La veine d'air dynamique du capteur est de 25mm 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 respectivement égale à  $60^\circ$  et  $120^\circ$ . Ces chicanes sont espacées d'une distance respectivement à  $d=10\text{cm}$  et  $d=5\text{cm}$  suivant deux configuration A et B qui se différencient par le nombre de rangés respectivement égale à 152 et 256 chicanes.

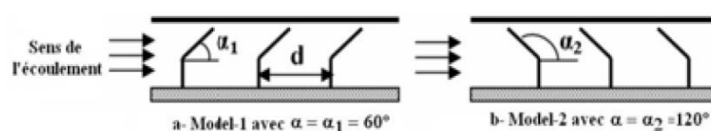


Figure I.4.2 Schéma descriptif des chicanes

**Paisarn Naphon et al [15]**, ont étudié numériquement les caractéristiques de transfert de chaleur et les performances d'un capteur solaire à air à double passe avec plaque chauffante avec et sans milieux poreux. Les modèles mathématiques décrivent les caractéristiques de transfert de chaleur et d'écoulement d'air sont dérivées à partir des équations de conservation de l'énergie. La méthode des différences finies implicites est utilisée pour résoudre ces modèles. L'effet de la conductivité thermique des milieux poreux sur les caractéristiques de transfert de chaleur et sur les performances est pris en considération. Les résultats obtenus à partir du modèle sont validés par comparaison avec les données expérimentales de chercheurs précédents. Il y a un accord raisonnable entre le modèle actuel et de l'expérience.



L'étude de **Md Azharul Karim [16]**, a donnée des résultats des performances obtenus sur capteur solaire à air avec un absorbeur en forme de zigzag, destiné pour des applications dans le séchage. Les résultats expérimentaux obtenus sont très satisfaisants et indiquent une bonne efficacité thermique de ce capteur (absorbeur en zigzag) en comparaison à un capteur plan simple. Les résultats montrent que la température du fluide à la sortie du capteur diminue avec le débit massique du aux pertes thermiques vers l'environnement. Pour un débit massique de  $0,035 \text{ kg/m}^2.\text{s}$  correspond à une bonne efficacité et une température de sortie suffisante pour la plupart des applications de séchage des produits agricoles, ce débit peut être considéré comme optimal pour cette configuration de capteur. Le capteur avec un absorbeur en zigzag est plus efficace de 12% de plus qu'un capteur plan à absorbeur ordinaire.

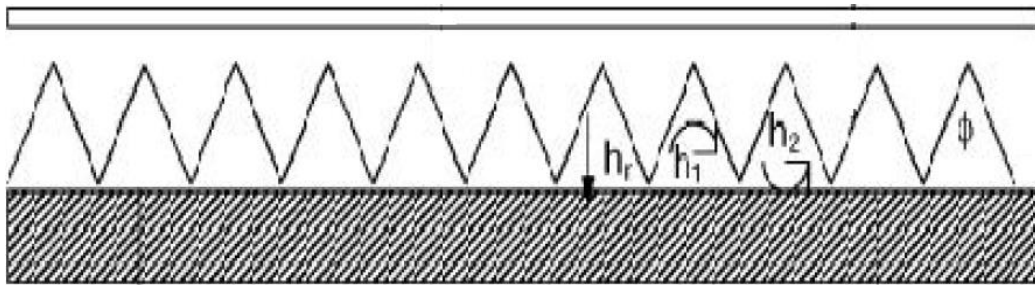


Figure I.5 Capteur solaire à air de v-absorbeur

### I.3 Conclusion

A travers cette étude bibliographique consacrée aux capteurs solaires plans à air, on a pu constater que les performances thermiques au niveau de chaque constituant de celle-ci dépend essentiellement des paramètres géométriques (épaisseur du canal, épaisseur de la lame d'air, de la longueur et largeur du capteur et de l'épaisseur de l'isolation) des paramètres thermophysiques (absorbeur sélectif ou non sélectifs) ainsi que des paramètres optiques (à simple vitrage, double vitrage...etc.). L'objectif de ces travaux, c'est l'amélioration des performances des capteurs solaires et permettent d'obtenir de meilleures performances ou une meilleure efficacité thermique de ces systèmes.



***CHAPITRE II***  
***Le gisement solaire***

## **II.1 Introduction**

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est l'une des plus facilement exploitables. Comme la plus part des énergies douces, elle donne à l'utilisateur la possibilité de subvenir sans intermédiaire à une partie de ses besoins.

Le gisement solaire représente l'énergie disponible sous forme de rayonnement solaire. Les énergies renouvelables ou les énergies non conventionnelles, dont les plus importantes sont : solaire, éolienne, géothermie, biomasse et hydraulique. [17]

Dans ce chapitre, nous étudierons brièvement le soleil, son énergie et son rayonnement reçus au niveau de la terre. Nous définirons quelques données astronomiques nécessaires pour cette étude et nous introduirons quelques données sur le gisement solaire en Algérie.

## **II.2 Le soleil**

Le soleil est l'origine principale de toute forme d'énergie sur terre. Ceci étant vrai autant pour les énergies conventionnelles d'origine fossile, comme les hydrocarbures qui sont la conséquence de la photosynthèse ; que pour les énergies non conventionnelles dites renouvelables, comme l'énergie solaire, l'énergie éolienne, la biomasse, et l'énergie géothermique.

Le soleil est une sphère gazeuse composée d'hydrogène (74 % de la masse ou 92,1 % du volume) et d'Hélium (24 % de la masse ou 7,8 % du volume). L'hydrogène se transforme en hélium par fusion nucléaire, chaque seconde 700 milliards (7 1011) de kilogrammes d'hydrogène se transforment en 695.7 milliards de kilogrammes d'hélium. La différence -4.3 milliards de kilogrammes se transforment en énergie  $-38.7 \cdot 10^{25}$  joules, c'est équivalent à 26 mille milliards de fois la consommation énergétique mondiale dans le même temps. Avec un diamètre de 1391000 km,

Il est situé à une distance de la terre égale à environ 150 millions de km. Sa luminosité totale, c'est-à-dire la puissance qu'il émet sous forme de photons, est à peu près égale à  $4 \cdot 10^{26}$  w. Seule une partie est interceptée par la terre, elle est de l'ordre de  $1,7 \cdot 10^{17}$  w. Elle nous parvient essentiellement sous forme d'ondes électromagnétiques ; 30% de cette puissance est réfléchiée vers l'espace, 47% est absorbée et 23% est utilisée comme source d'énergie pour le cycle d'évaporation-précipitation de l'atmosphère. [18] [19] [20] Les principales caractéristiques du soleil sont regroupées dans le tableau II.1. [21]

Caractéristiques		Valeurs
Masse		$1.9891 * 10^{30}$ kg
Diamètre		1 391 000 km
Masse volumique moyenne		1 408 kg/m <sup>3</sup>
Surface		$6.09 * 10^{12}$ km <sup>2</sup>
Volume		$1.41 * 10^{18}$ km <sup>3</sup>
Magnitude absolue		4.83
Magnitude apparente		-26.8
Puissance rayonnée		$3.83 * 10^{26}$ w
Période galactique		$2.26 * 10^8$ années
Demi grand axe de la terre		149 597 870 km
vitesse		217 m/s
Gravité à la surface		273.95 m/s <sup>2</sup>
Température	Au centre	15.1 million k
	A la surface	5770 k

Tableau II.1 Caractéristiques principales de soleil [21]

### II.3 Structure du soleil

Le Soleil est tout simplement une étoile. Comme toutes les étoiles, c'est une énorme boule de gaz (hydrogène). La structure du Soleil au-delà de la photosphère est généralement connue sous le nom d'atmosphère solaire. Elle comprend trois zones principales : la chromosphère, la couronne et l'héliosphère. La chromosphère est séparée de la photosphère par la zone de température minimum et de la couronne par une zone de transition. Le soleil est un astre constitué de plusieurs couches à savoir : la photosphère, la chromosphère, la couronne solaire, l'intérieur, le cœur ou noyau et l'héliosphère.

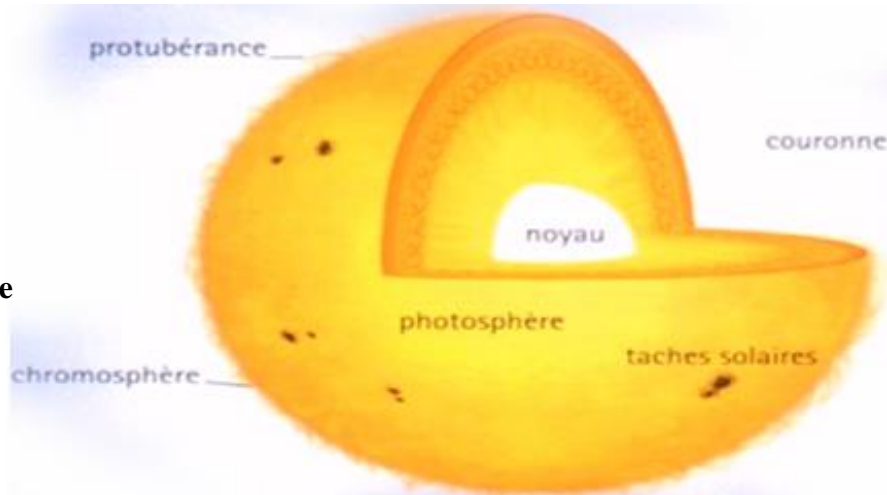


Figure II.1 :  
Structure du soleil en coupe

### II.3.1 La photosphère

La photosphère est une couche opaque, très mince, son épaisseur est d'environ 300 km, elle est responsable de la presque totalité du rayonnement qui nous parvient, c'est la partie visible du soleil. L'ordre de grandeur de la température n'y est plus que de quelques millions de degrés, décroissant très rapidement dans l'épaisseur de la couche jusqu'à une température dite de surface de l'ordre de  $4500^{\circ}$  [22].



Figure II.2 photosphère

### II.3.2 La chromosphère

La chromosphère proprement dite est épaisse d'environ 2 000 kilomètres. Sa température augmente graduellement avec l'altitude, pour atteindre un maximum de 100 000 kelvins à son sommet. Son spectre est dominé par des bandes d'émission et d'absorption. Son nom, qui vient de la racine grecque *chroma* (couleur), lui a été donné en raison du flash rose soutenu qu'elle laisse entrevoir lors des éclipses totales de Soleil [23].

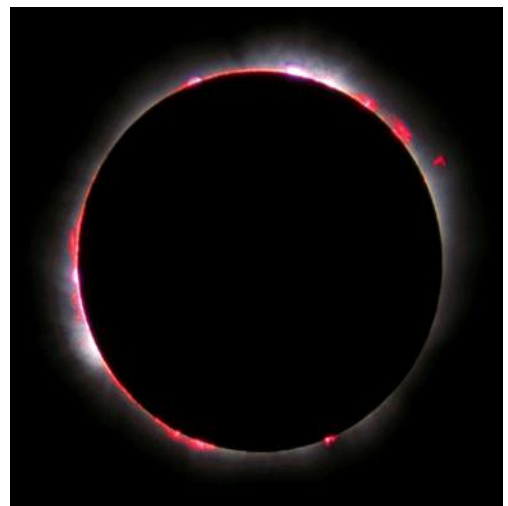


Figure II.3 chromosphère

### II.3.3 La couronne solaire

Bien plus vaste que le Soleil lui-même, la couronne solaire elle-même s'étend à partir de la zone de transition et s'évanouit progressivement dans l'espace, mêlée à l'héliosphère par les vents solaires. La couronne inférieure, la plus proche de la surface du Soleil, est à une température, qui peut atteindre les 5 millions de kelvins, contraste nettement avec la température de la photosphère [23].



Figure II.4 couronne solaire

### **II.3.4 l'intérieur**

A l'intérieur du soleil, se trouve un noyau qui occupe 15% du soleil, à une température de 14 million de degrés ou l'hydrogène est transformé en hélium par réaction nucléaire [17].

### **II.3.5 Le cœur ou noyau**

Le cœur est la seule partie du Soleil qui produise une quantité notable de chaleur par fusion, le reste de l'étoile tire sa chaleur uniquement de l'énergie provenant du cœur.

La totalité de l'énergie produite dans le cœur doit traverser de nombreuses couches successives jusqu'à la photosphère, avant de s'échapper dans l'espace sous forme de rayonnement solaire ou de flux de particules [23].

### **II.3.6 L'héliosphère**

Débutant à environ 20 rayons solaires (0,1 ua) du centre du Soleil, l'héliosphère s'étend jusqu'aux confins du système solaire. On admet qu'elle débute lorsque le flux de vent solaire devient plus rapide que les ondes d'Alfvén, les turbulences et forces dynamiques survenant au-delà de cette frontière n'ont pas d'influence sur la structure de la couronne solaire, car l'information ne peut se déplacer qu'à la vitesse des ondes d'Alfvén.

Le vent solaire se déplace ensuite en continu à travers l'héliosphère, donnant au champ magnétique solaire la forme d'une spirale de Parker jusqu'à sa rencontre avec l'héliopause, à plus de 50 ua du Soleil. En décembre 2004, Voyager 1 est devenue la première sonde à franchir l'héliopause. Chacune des deux sondes Voyager a détecté d'importants niveaux énergétiques à l'approche de cette frontière [24].

### **II.3.7 La zone de radiation**

La zone de radiation ou zone radiative. La matière solaire y est si chaude et si dense que le transfert de la chaleur du cœur vers les couches les plus extérieures se fait par la seule radiation thermique [23].

### II.3.8 La zone de convection

Dans la zone de convection la matière n'est plus ni assez dense ni assez chaude pour évacuer la chaleur par radiation : c'est donc par convection, selon un mouvement vertical, que la chaleur est conduite vers la photosphère. La température y passe de 2 millions à 6000 K [23].

### II.4 Le mouvement de la terre

Dans son mouvement autour du soleil, la terre décrit une ellipse dont le soleil est l'un de ses foyers, la révolution complète s'effectue en une période de 365,25 jours. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique [22].

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

En plus de sa rotation autour du soleil, la terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Cette rotation s'effectue en une journée. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la terre est appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique, ils font entre eux un angle appelé inclinaison égale à  $23^{\circ}27'$  [22].

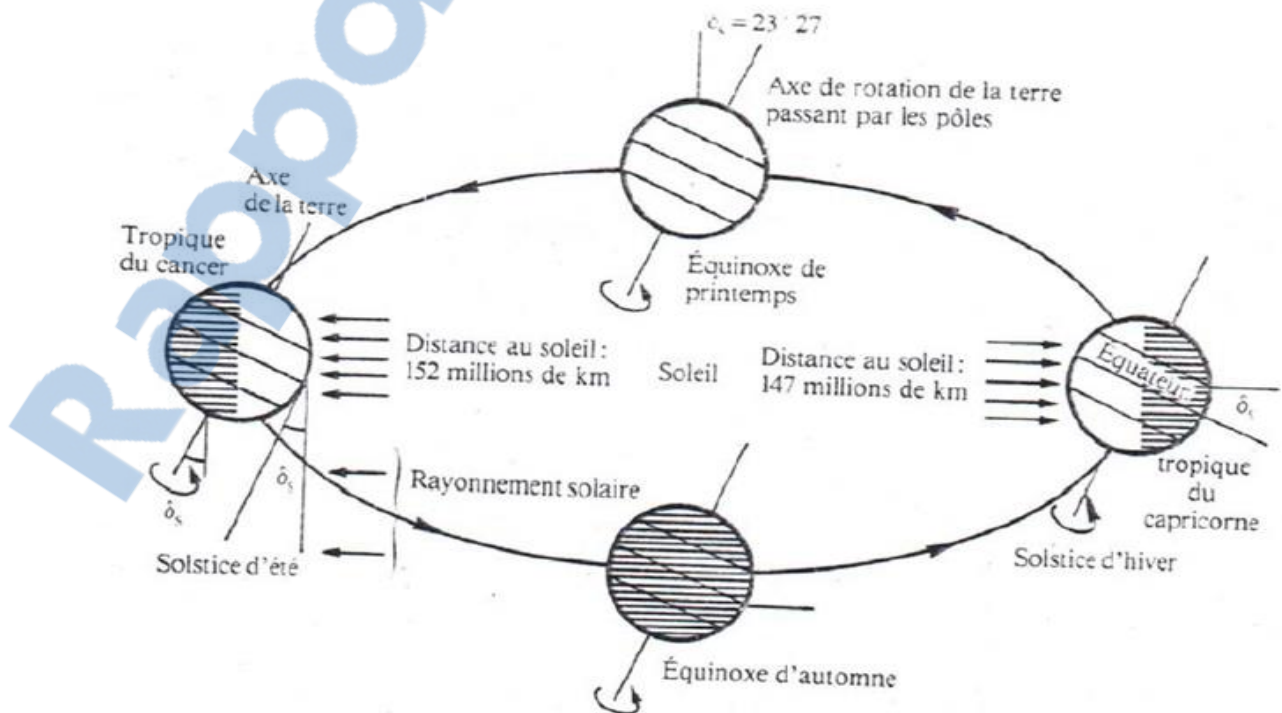


Figure II.5 Mouvement de la terre autour du soleil



## II.5 Caractéristiques de la terre

Les principales caractéristiques sont données dans le tableau II.2 [24].

Caractéristiques	Valeurs
Masse	$6 * 10^{21}$ T
Volume	$1083310 * 10^6$ Km <sup>3</sup>
Surface	$510101 * 10^3$ km <sup>2</sup>
Diamètre équatorial	12756.32 km
Diamètre polaire	12713.55 km

Tableau II.2 Caractéristiques principes de la terre [26]

## II.6 Position du soleil par rapport à la terre

Il est possible de déterminer la position du soleil dans la voute céleste en fonction du temps et de la position de l'observateur sur la terre.

### II.6.1 Repérage d'un site a la surface de la terre

Pour repérer un site donné a la surface terrestre, on définit les grandeurs suivantes :

**a) La latitude ( $\Phi$ )** : C'est l'angle  $\Phi$  que fait la verticale du lieu avec le plan équatorial. Si  $\Phi > 0$ , le site se trouve dans l'hémisphère nord, sinon le site est dans l'hémisphère sud [25].

**b) La longitude (Le)** : C'est l'angle (Le) formé par le méridien de Greenwich et le méridien du lieu considéré. La longitude est comprise entre -180 (vers l'ouest) et +180 (vers l'est). Comme la terre met 24 heures pour faire un tour sur elle même (360°), chaque heure représente 15° d'écart de longitude et donc, chaque degré de longitude représente 4 minutes [25].

**c) L'altitude** : C'est la distance verticale exprimé en mètres. séparant le point considéré du relief terrestre du niveau de la mer. pris comme surface de référence [25].



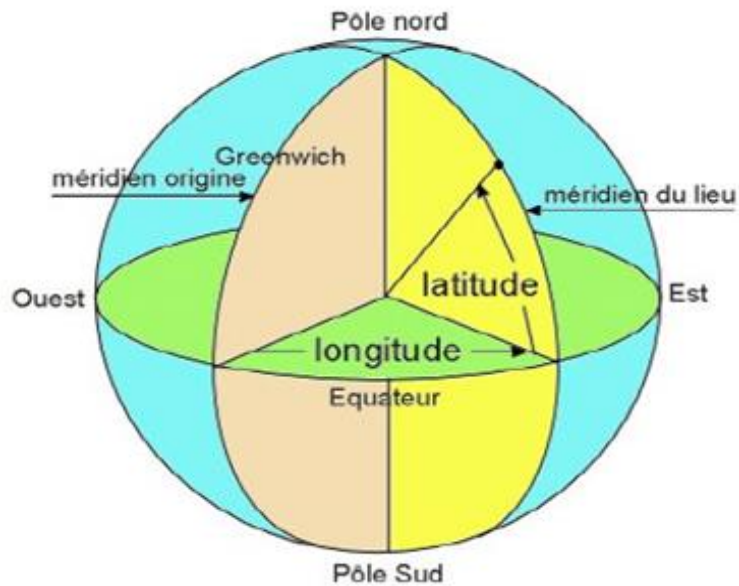


Figure II.6 Repérage d'un site sur la surface terrestre

## II.6.2 Repère de coordonnées équatoriales


Dans ce repère la position du soleil dans le ciel est déterminée par deux grandeurs :

**a) La déclinaison ( $\delta$ )** : C'est l'angle que forme la direction du soleil et le plan équatorial. La déclinaison varie de façon sinusoïdale au cours de l'année : elle vaut 0 aux équinoxes et atteint ses deux valeurs extrêmes au solstice d'hiver ( $-23^{\circ}.27'$ ) et au solstice d'été ( $+23^{\circ}.27'$ ). Plusieurs expressions ont été développées pour évaluer la déclinaison, la plus simple est celle utilisée par Cooper [30].

$$\delta = 23,45 \sin \left[ 360 * \frac{(284+j)}{365} \right] \quad (1)$$

**b) Angle horaire ( $\omega$ )** : L'angle horaire mesure le mouvement du soleil par rapport à midi qui est l'instant où le soleil passe au plan méridien du lieu zénith. Cet angle est formé entre la projection du soleil sur le plan équatorial à un moment donné et la projection du Soleil sur ce même plan au midi vrai. L'angle horaire est donné par la relation suivante [30] :

$$\omega = 15 (TSV - 12) \quad (2)$$



### II.6.3 Repère de coordonnées horizontales

Le repère horizontal est formé par le plan de l'horizon astronomique et la verticale du lieu. Dans ce repère les coordonnées du soleil sont :

**a) La hauteur du soleil ( $h$ ) :** C'est l'angle formé par la direction du soleil et sa projection sur le plan horizontal. Il est donné par la relation suivante [22]:

$$\sin(h) = \sin(\Phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\Phi) \cdot \cos(\delta) \quad (3)$$

**b) Azimut du soleil ( $a$ ) :** C'est l'angle compris entre la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et le sud. L'azimut est compté positivement vers l'ouest et négativement vers l'est. Il est donné par la relation suivante [22]:

$$\sin(a) = (\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)) / \cos(h) \quad (4)$$

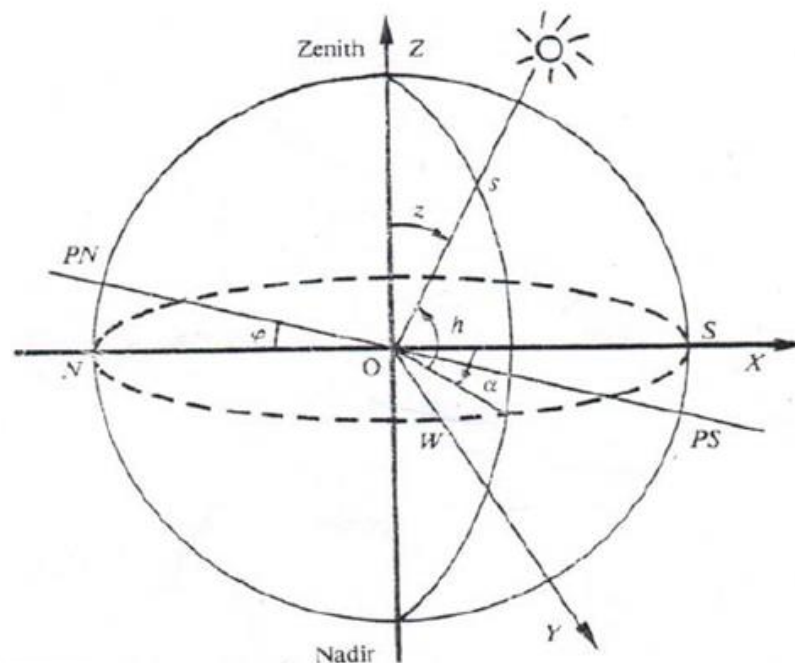


Figure II.7 Repère de coordonnées azimutales

## II.6.4 Orientation d'un plan

L'orientation d'un plan quelconque est définie par deux angles ( $\alpha$ ,  $\gamma$ )

**a) azimut du plan ( $\alpha$ ):** c'est l'angle que fait la projection de la normale sur le plan horizontal et la direction du sud.

**b) hauteur du plan ( $\gamma$ ):** c'est l'angle que fait la normale du plan et sa projection sur le plan horizontal. L'inclinaison  $\beta$  du plan par rapport au plan horizontal est donnée par [17] :

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

## II.6.5 Angle d'incidence sur un plan

L'angle d'incidence  $i$  est l'angle que fait la direction des rayons solaires incidents avec la normal au plan de la surface réceptrice. Il est donné par la relation suivante [22] :

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

## II.7 L'atmosphère terrestre

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

- La troposphère, entre le sol et 15 km d'altitude.
- La stratosphère, entre 15 et 80 km d'altitude.
- L'ionosphère, entre 80 et 200 km d'altitude.

## II.7.1 Atténuation du rayonnement solaire

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

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

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

## II.8 Temps solaires

### II.8.1 Temps solaire vrai (TSV)

Le temps solaire vrai, en un instant et un lieu donné, est l'angle horaire du soleil, ce temps est indiqué par les cadrans solaires et les héliographes, Il est donné par la relation suivante [30] :

$$TSV = 12 + (\omega / 15) \quad (7)$$

### II.8.2 Temps solaire moyen (TSM)

La rotation de la terre autour d'elle-même introduit la notion du temps solaire moyen ou TSM. On le définit comme étant le temps qui sépare en moyenne deux passages successifs par le méridien du lieu, une rotation complète de la terre autour d'elle-même prend 24 heures [30].

$$TSM = TSV - ET \quad (8)$$

Et : est l'équation du temps exprimée en minutes.

### II.8.3 Le temps universel

Le temps universel TU est défini par l'heure du passage du soleil au méridien origine. Le méridien retenu comme origine et celui de Greenwich et le TSM correspond au temps universel (c'est le TSM à la longitude 0o). La différence entre le temps solaire moyen et le temps universel est appelée correction de longitude, le temps universel est lié au temps solaire moyen (local) par la relation [30] :

$$TU = TSM + (Le/15) \quad (9)$$

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

### II.8.4 Temps légal (TL)

Le temps légal est une heure liée au TU par une différence fixe exprimée en un nombre entier d'heures qui dépend de la longitude et des coutumes de chaque pays. Est donné par la relation suivante [30] :

$$TL = TU + C \quad (10)$$

C: Est le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré.

### II.8.5 Equation du temps

Le temps ET varie de -14.5 minutes (du 10 au 15 février) a +16.5 min (du 25 au 30 octobre). Une bonne approximation du temps ET est donnée par l'équation suivant [17] :

$$Et = 9.9 \sin [2(0.986j+100)] - 7.7 \sin (0.986j-2) \quad (11)$$

j : numéro du jour dans l'année a partir de 1<sup>er</sup> janvier. Voir le tableau(II.3) [25].

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Numéro caractéristique du chaque mois	0	31	59	90	120	151	181	212	243	273	304	334

Tableau II.3 Numéro caractéristique de début de chaque mois [25]

### II.8.6 Durée de jour

Le module  $W_l$  de l'angle horaire au lever du soleil s'obtient en écrivant  $\sin(h)=0$ . On n'en déduit que la durée du jour est [30] :

$$d = 24 * (W_l / \Pi) \quad (12)$$

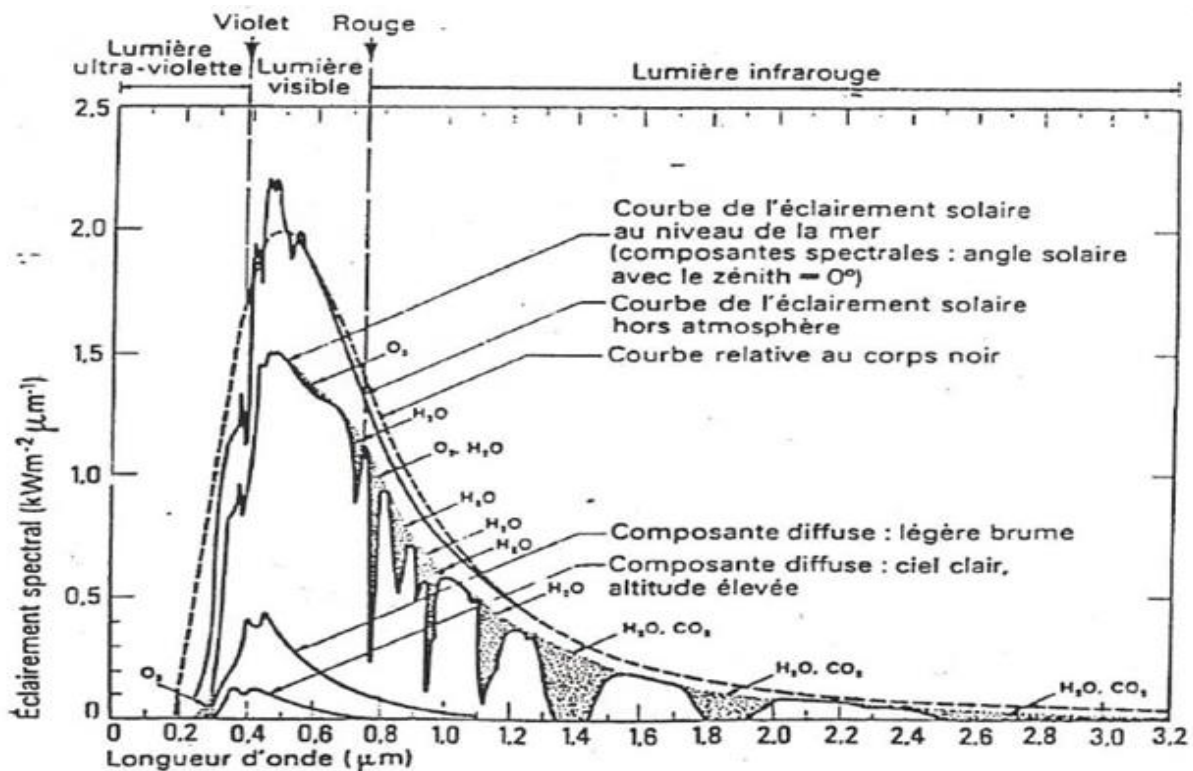
La durée du jour est en heures et  $W_l$  en radians.

### II.9 Le rayonnement solaire

Le rayonnement électromagnétique émis par le soleil est la manifestation externe des interactions nucléaires qui se produisent au cœur du soleil et de l'ensemble des interactions secondaires qu'elles génèrent dans son enveloppe. Il constitue la quasi-totalité de l'énergie expulsée par le soleil [22].

Les réactions thermonucléaires produites au cœur du soleil génèrent des rayonnements corpusculaires et électromagnétiques se propageant dans toutes les directions du vide intersidéral avec une vitesse de  $3.10^8$  les rayons X et gamma jusqu'a l'I.R lointain. Cependant 99.9% de l'énergie se situe entre 0.2 et  $8\mu\text{m}$  [17].

On pourra supposer avec une approximation acceptable que le soleil rayonne comme un corps noir porté à une température de 5762 K dite température apparente du soleil ne correspondant pas à la réalité physique .La figure II.8 donne l'allure du spectre solaire.



## II.9.1 Composante du rayonnement solaire

Le rayonnement qui nous parvient du soleil est émis par sa surface extérieure dont la température est d'environ 6000 °K. A une telle température, 40% de l'énergie est émise dans le domaine visible, c'est-à-dire dans une gamme de longueur d'onde allant de 0,3  $\mu\text{m}$  (violet - bleu) à 0,7  $\mu\text{m}$  (rouge). La décomposition du rayonnement solaire peut être réalisée en projetant un faisceau lumineux sur un prisme de verre ou sur un réseau de diffraction. Tout un éventail de couleurs apparaît, du bleu au rouge en passant par le vert et le jaune.

Chacune de ces couleurs est associée à un rayonnement d'une certaine longueur d'onde. William Herschell (Vers 1800) qui étudiait le rayonnement solaire, avait placé un thermomètre derrière un tel prisme. Il s'aperçut qu'il indiquait une élévation de température (et donc qu'il recevait de l'énergie) non seulement dans le domaine visible mais également dans la région au de là du rouge. Ce fut la découverte du rayonnement infrarouge qui représente 50% du rayonnement émis par le soleil. Les 10% restant du rayonnement solaire total sont émis à l'opposé du domaine visible, à des longueurs d'onde plus petites que celles du violet [26].

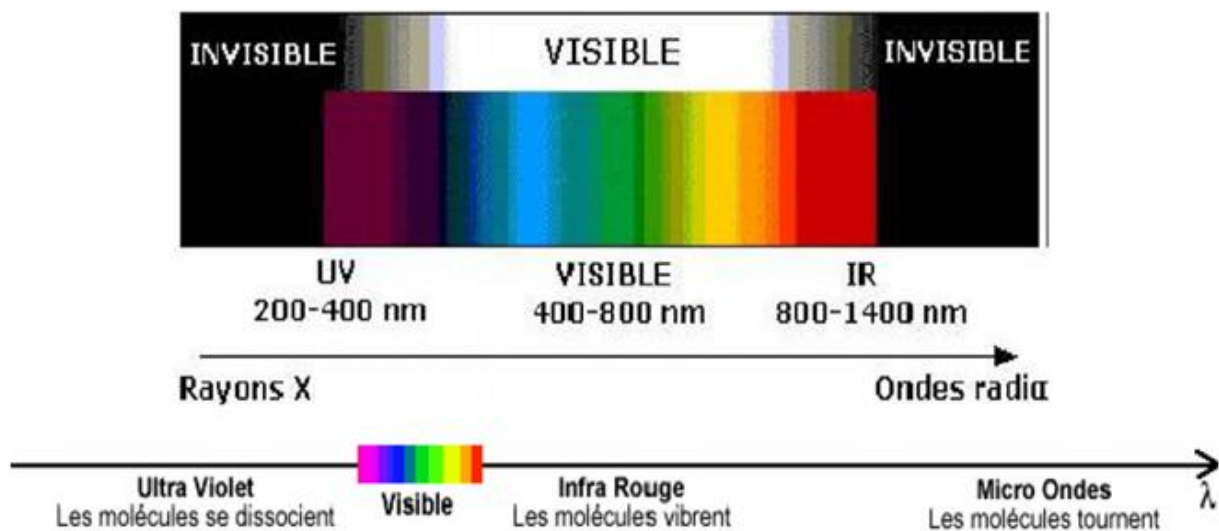


Figure II.9 Répartition de rayonnement solaire

## II.9.2 Le rayonnement solaire reçu au niveau du sol

L'atmosphère terrestre perturbe grandement et par des processus variés le flux de photons issu du soleil. Donc, après sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire peut être considéré comme la somme de deux composantes [22]:

- **Le rayonnement direct (S)** est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications, il provient du disque solaire seulement à l'exclusion de tout rayonnement diffusé, réfléchi ou réfracté par l'atmosphère.

- **Le rayonnement diffus (D)** est la part du rayonnement solaire provenant de toute la voûte céleste, à l'exception du disque solaire, et diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère. Il n'a pas de direction privilégiée.

- **Le rayonnement global (G)** est le rayonnement reçu sur une surface horizontale provenant du soleil et de la totalité de la voûte céleste. Il est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus. La figure II.10 illustre les différents composants du rayonnement solaire au niveau du sol.

Les trois quantités, le rayonnement direct noté S, le rayonnement diffus D, et le rayonnement global G, sont reliés par la relation suivante :

$$G = S \cdot \sin(h) + D \quad (13)$$

Où h est la hauteur du soleil.

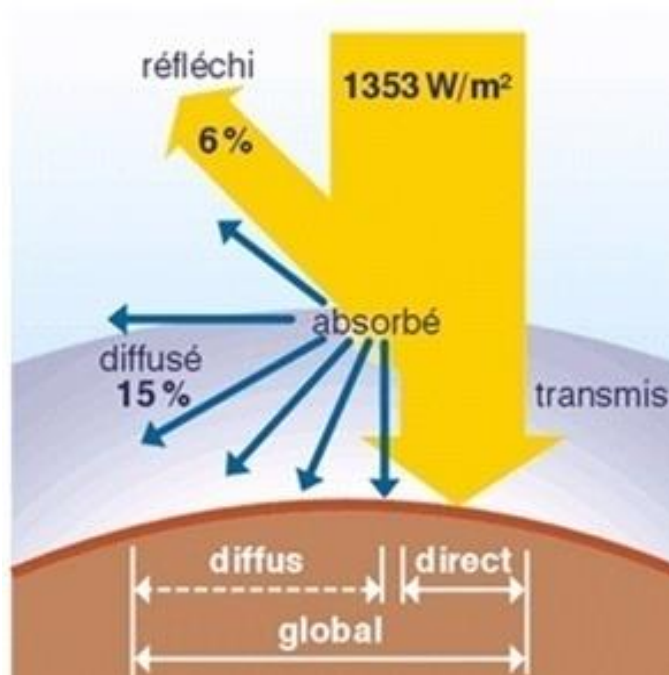


Figure II.10 rayonnement global



## II.10 Constante solaire « $I_0$ »

L'énergie totale que le soleil envoie à la limite de l'atmosphère terrestre sur une surface de  $1\text{m}^2$  placée perpendiculairement au rayonnement est appelée « constante solaire ». Elle est indépendante des conditions météorologiques, mais dépend de la distance Terre-Soleil. Cette distance variant quelque peu au cours de l'année, compte tenu de la légère excentricité de l'orbite terrestre. La valeur moyenne de la constante solaire est :  $1367\text{ W/m}^2$  [22].

## II.11 L'albédo

En réalité la terre n'est pas un corps noir, une partie du rayonnement solaire incident est réfléchi par l'atmosphère (principalement par les nuages) et par le sol terrestre. Cette quantité est appelée le flux d'albédo. On définit généralement l'albédo comme étant le rapport de l'énergie solaire réfléchi par une surface sur l'énergie solaire incidente.

Type de surface	Albédo
Surface de lac	0.02 à 0.04
Forêt de conifères	0.05 à 0.15
Forêt tropicale	0.12
Herbe vert	0.25
Sable léger et sec	0.25 à 0.45
Sol sombre	0.05 à 0.15
Glace	0.30 à 0.40
Mer chaude	0.05
Mer froide	0.15
Neige tassée	0.60
Neige fraîche	0.85
Nuage	0.86
Verre a vitres	0.10

Tableau II.4 Albédo pour différentes surfaces [21]

## II.12 Le gisement solaire en Algérie [26]

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

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure II.11 :

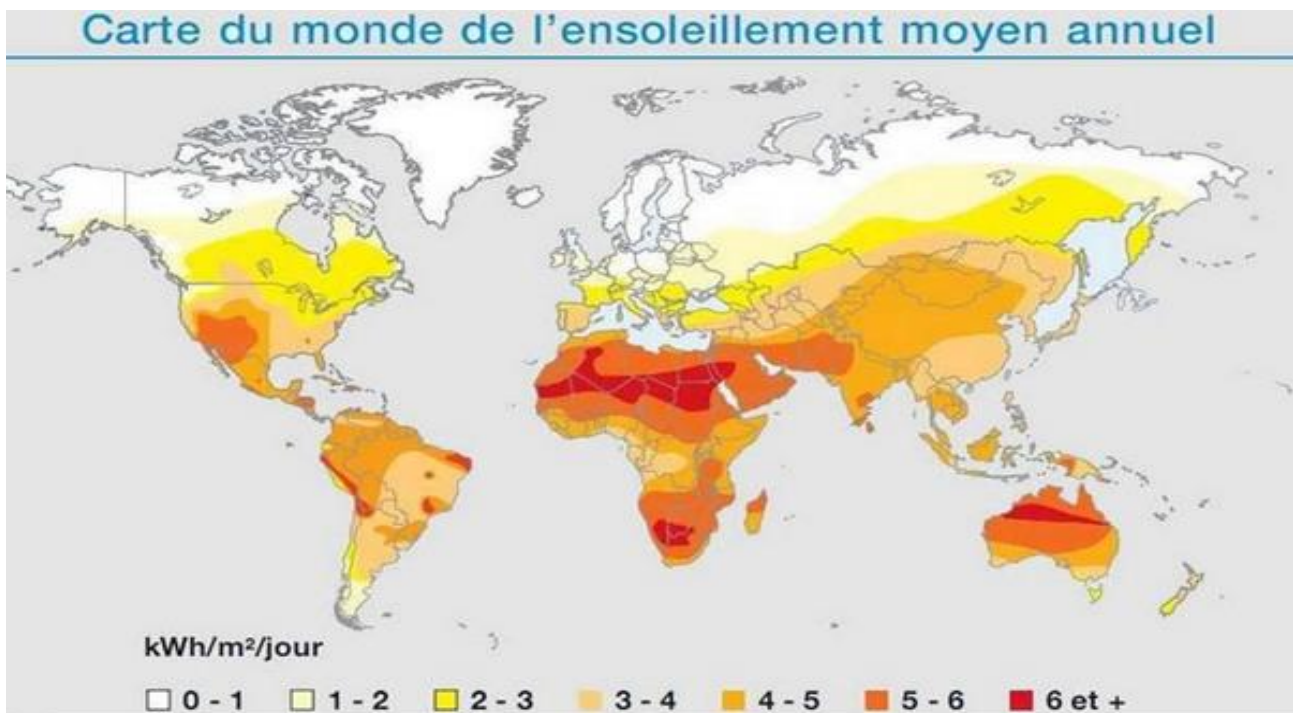


Figure II.11 Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau II.5 selon l'ensoleillement reçu annuellement [26]:

Région	Région côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue kwh/m2/an)	1700	1900	2650

Tableau II.5 Ensoleillement reçu en Algérie par régions [26]

La durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de 3500h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8h/j et peut arriver jusqu'à 12h/j pendant l'été à l'exception de l'extrême sud où elle baisse jusqu'à 6h/j en période estivale. La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie (figure II.12).

En Algérie, il existe un réseau de 78 stations de mesure météorologiques de l'O.N.M (Annexe D) réparties sur tout le territoire algérien (figure II.13). Cependant, seules 7 stations météorologiques assurent la mesure des composantes diffuses et globales du rayonnement solaire reçu sur un plan horizontal en raison, soit du manque de fiabilité des appareils de mesure, ou bien, du coût élevé d'un tel appareillage. La durée d'insolation quant à elle, est mesurée par un héliographe dans la majorité des stations de (O.N.M) à cause de la facilité de sa mise en œuvre.

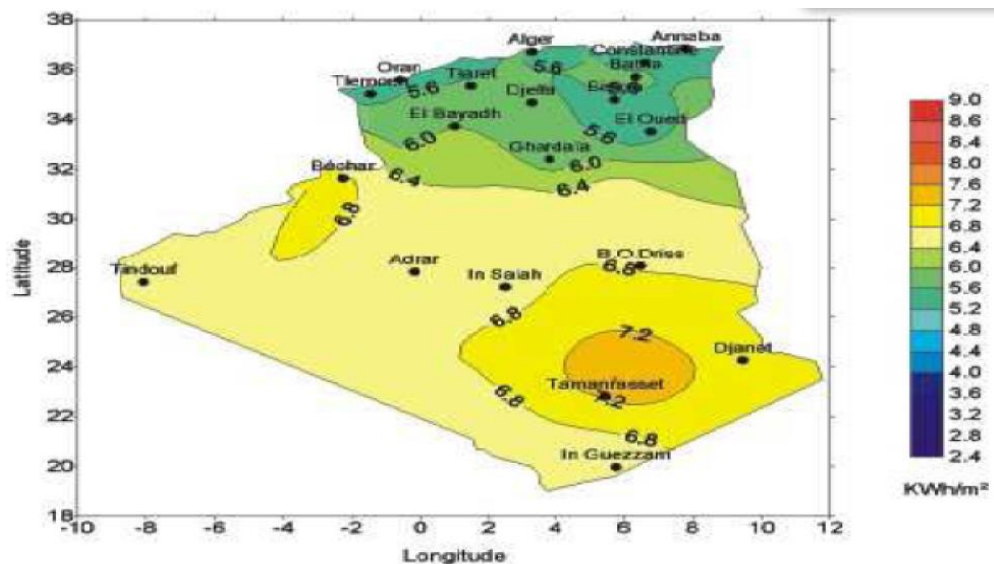


Figure II.12 Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu

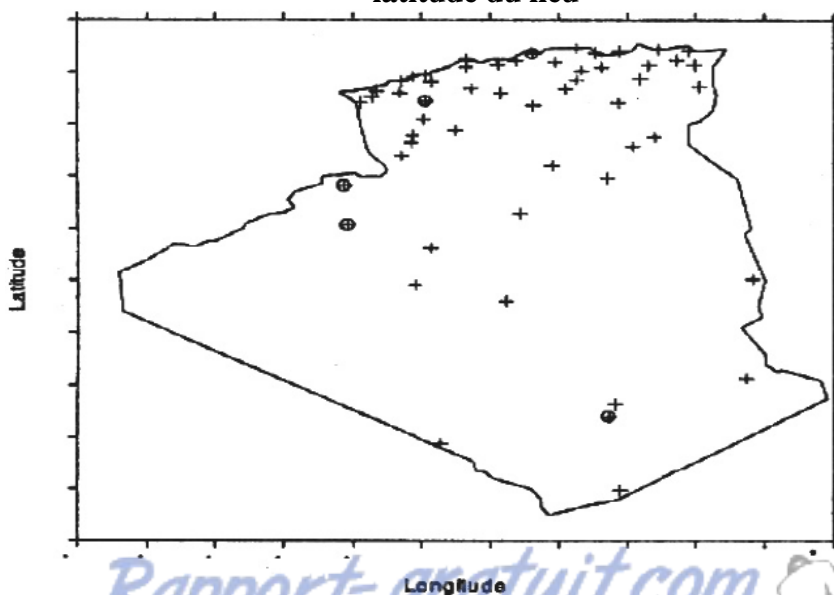


Figure II.13 Répartition territoriale des stations météorologiques

## **II.13 Conclusion**

On a présenté dans ce chapitre un récapitulatif de quelques notions de base relatif au gisement solaire, la connaissance de ces notions fondamentales et particulièrement le rayonnement global au sol va nous servir par la suite dans l'exploitation de l'énergie solaire par un capteur solaire et concentrateurs solaires.

L'Algérie dispose d'un gisement solaire important encore inexploité. Cette forme d'énergie présente beaucoup d'avantages en conversion thermique pour le chauffage et la production d'électricité principalement. C'est une forme d'énergie disponible, économique, non polluante et nécessite peu d'entretien.



## ***CHAPITRE III***

***Généralités sur  
les capteurs solaires***

### **III.1 Introduction**

Le capteur solaire plan est un dispositif conçu pour recueillir l'énergie transportée par les radiations solaires, la convertir en énergie calorifique et la transmettre à un fluide caloporteur, il combine deux principes physiques : les effets de serre et du corps noir.

Dans ce chapitre nous avons présenté des généralités sur les capteurs solaires. On va voir la notion et les composantes d'un capteur solaire, ainsi que ses types et ses utilisations dans le domaine de l'énergie solaire.

### **III.2 Les capteurs plans**

Les capteurs plans peuvent assurer des températures variant de 30°C à 150°C et ne nécessitent ni concentration du rayonnement incident, ni un suivi du soleil. Le niveau relativement bas de la température du capteur plan est dû à la réémission par rayonnement du récepteur, et les pertes de chaleur périphérie du capteur.

Il existe trois types de capteurs solaires plans : les capteurs à air, à eau et sous vide.

### **III.3 Fonctionnement d'un capteur solaire plan**

Le principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan est très simple. Le rayonnement solaire traverse la vitre et arrive sur l'absorbeur muni d'une surface sélective où il est converti en chaleur à sa surface. Le fluide caloporteur qui circule dans l'absorbeur conduit la chaleur captée vers un échangeur de chaleur, à partir duquel elle est transmise au consommateur.

Le vitrage est transparent pour le rayonnement visible et le proche mais opaque pour le rayonnement lointain émis par l'absorbeur, ainsi, la couverture transparente crée un effet de serre. L'isolation thermique en dessous et autour du capteur diminue les déperditions thermiques et augmente ainsi son rendement [29].

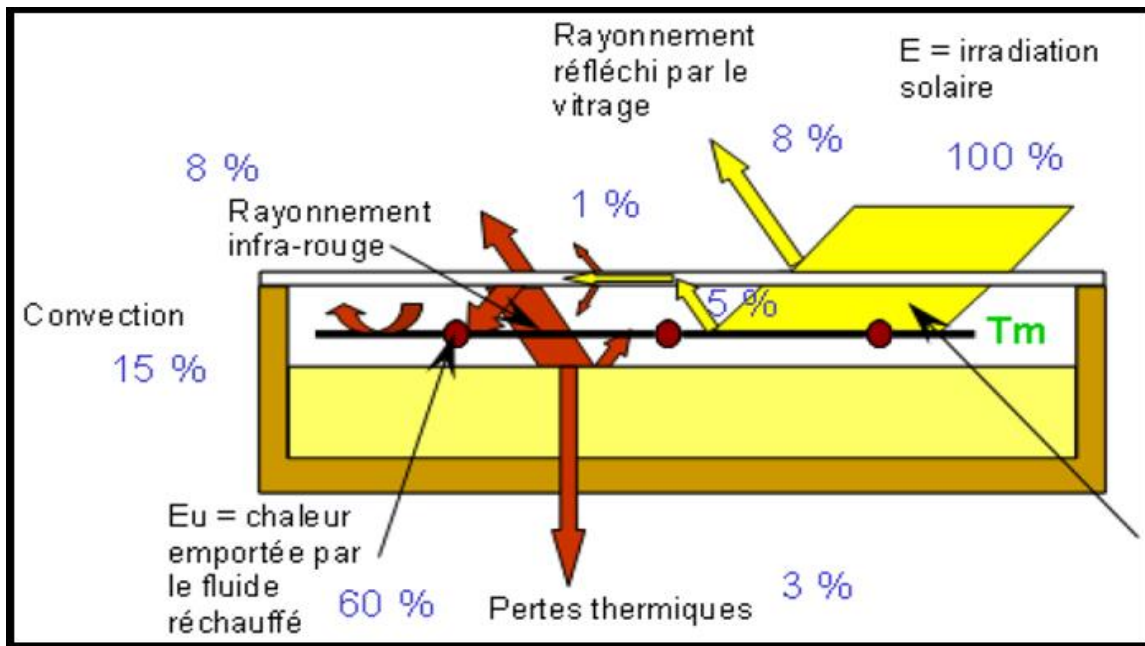


Figure III.1 Principe de fonctionnement du capteur solaire plan

### III.4 Types de capteurs solaires plans

#### III.4.1 Capteurs plan à air

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

##### III.4.1.1 Différents types des capteurs solaires plans à air

Les types de capteurs solaires sont très divers même si leur composition reste approximativement le même [31].

On distingue trois grandes catégories de capteurs plans à air :

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

### 1- Capteurs à absorbeur plan

L'absorbeur est une tôle plane. Plusieurs types d'écoulement d'air sont envisageables dans ce genre de capteur [31] :

- Écoulement au-dessus de l'absorbeur,
- Écoulement en dessous de l'absorbeur,
- Écoulement des deux côtés de l'absorbeur (multi passes).

### 2- Capteurs à absorbeur à géométrie variable

Ces capteurs se présentent sous de nombreuses variantes, l'idée principale consiste à jouer sur la géométrie de l'absorbeur de façon à augmenter la surface d'échange [14].

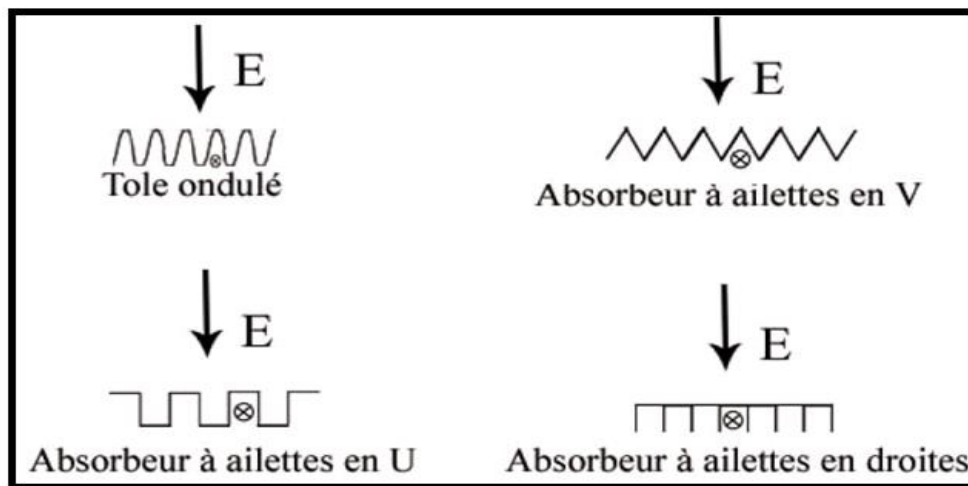


Figure III.2 Principales géométries d'absorbeur

### 3- Les capteurs à absorbeur perméable

Dans ce type de capteur, l'absorbeur est une matrice perméable. Ainsi l'énergie solaire incidente pénètre dans la masse de l'absorbeur.

Le capteur à absorbeur perméable se compose toujours d'un caisson isolé. Dans ce type de capteur, l'air pénètre dans l'espace vitre absorbeur où il commence à se chauffer par convection sous le vitrage. Ensuite l'air continue de se chauffer par passage dans la matrice absorbante [14].



### 3.1 Exemple de capteurs absorbeur perméable

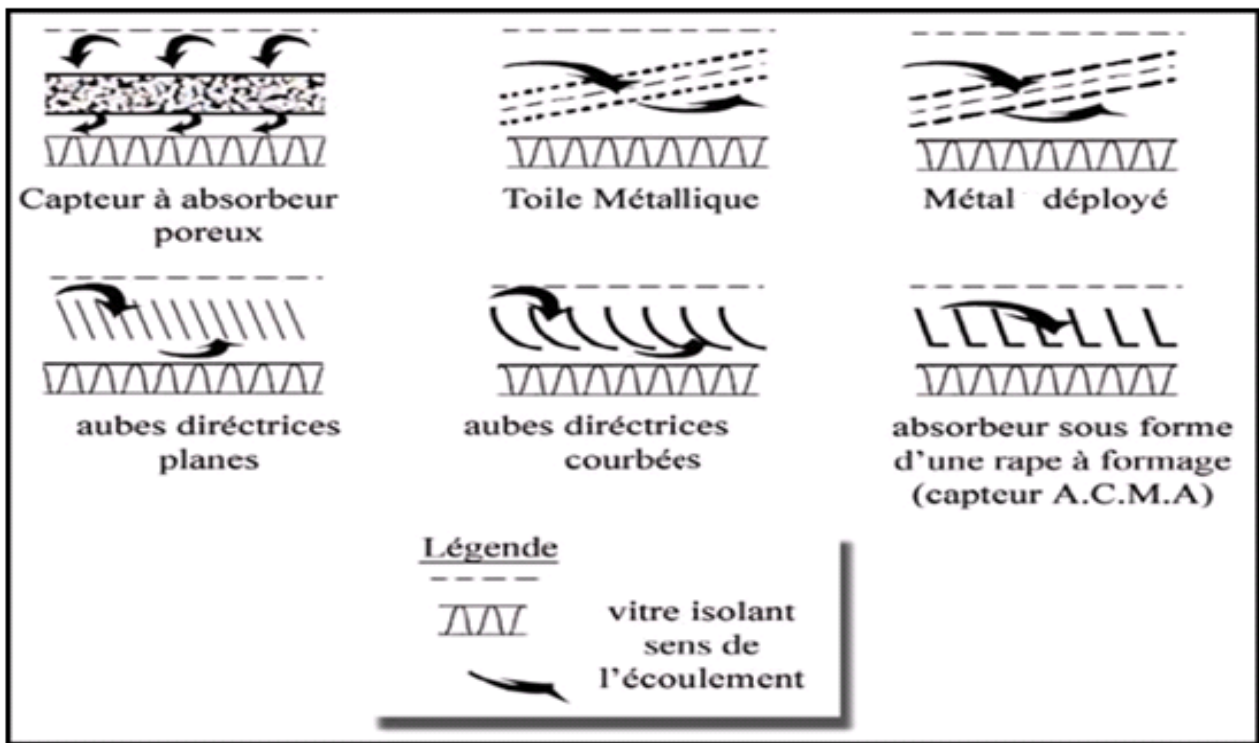


Figure III.3 Capteurs à absorbeur perméable

### III.4.2 Capteur plan à eau

Le capteur plan à eau est constitué d'une plaque de verre sous laquelle est situé des tuyaux contenant l'eau et de l'antigel. Ce tuyau repose sur une plaque isolante peinte en noir afin d'avoir une absorption de l'énergie solaire maximale [32].

Ils s'adaptent aux appareils de chauffage à liquide, y compris ceux dont le liquide entre en ébullition pendant le chauffage (la production de l'eau chaude sanitaire).

Les capteurs à eau peuvent être classés en capteurs à :

- Faible pression de circulation, tel est le cas du chauffage des piscines.
- Haute pression de circulation où le circuit d'eau est généralement constitué de tubes de cuivre et de plaques métalliques qui augmentent la surface d'absorption.



Figure III.4 Capteur plan à eau

### III.4.3 Capteur sous vide



Figure III.5 Capteur sous vide

Le capteur solaire à tubes sous vide est constitué des rangées de tubes de verre parallèles, reliées à un tuyau d'en-tête comme illustre à la figure III.5. L'air à l'intérieur de chaque tube est retiré est atteint des pressions de vide autour de  $10^{-3}$  mbar. Cela crée des conditions d'isolation élevées pour éliminer les pertes de chaleur par convection et par rayonnement, pour atteindre des températures plus élevées. Dans les tubes à passage direct, le fluide s'écoule à travers l'absorbeur. (Figure III.6 ; a, b) Ces capteurs sont classés en fonction de leurs nœuds de liaison-matériaux ; par exemple verre-métal ou verre-verre et par l'agencement des tubes (concentriques ou tube en U). A l'intérieur de chaque tube une ailette métallique plane ou incurvée est attachée à un tube de cuivre. L'ailette est revêtue d'un film mince dont les propriétés optiques sélectives permettent d'atteindre une forte absorbance du rayonnement solaire et réduisent les pertes de chaleur par rayonnement [32].

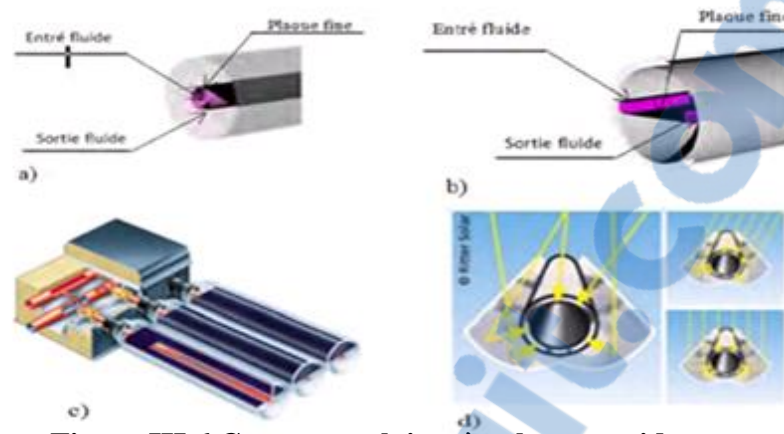


Figure III.6 Capteurs solaires à tube sous vide

On distingue plusieurs types de capteurs sous vide.

- 1 - Circulation directe.
- 2 - Capteur à caloduc.
- 3 - Capteur de type "Sydney".
- 4- Capteur à tube sous vide "Schott"

Rapport-gratuit.com  
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

#### 1- Circulation directe (EDF)

Le fluide caloporteur passe successivement dans chaque tube pour y être chauffé. Le principe est simple, mais la fabrication est difficile à cause des liaisons verre/métal nécessaires pour la circulation du fluide caloporteur [32].

#### 2- Capteur à caloduc (EHP)

Le liquide à l'intérieur du tube est vaporisé et se condense dans un condenseur et relâche ainsi l'énergie de condensation à un fluide caloporteur circulant au sommet des tubes. Cette conception permet le remplacement aisé d'un tube, car le circuit du tube et le circuit du champ de capteurs ne sont pas connectés [32].

### 3- Capteur de type "Sydney"

(À effet « Thermos ») (SYC): Ils sont réalisés avec deux tubes de verre l'un dans l'autre (obturés aux extrémités par deux soudures verre/verre) et entre lesquels on fait le vide après avoir déposé un absorbeur sélectif concentrique sur la paroi extérieure du tube intérieur. On place ensuite au centre des deux tubes, un tube de cuivre creux en U qui permet l'échange de chaleur, soit directement, ou soit par le biais d'un caloduc. Cette conception permet d'avoir une soudure verre/verre beaucoup plus sûre que les soudures métal/verre dans d'autres technologies. Cette technologie a été largement reprise en Chine, où 65% du marché des chauffe-eau solaires utilisent ces capteurs sous vide [32].

### 4- Capteur à tube sous vide "Schott"

Le tube sous vide fabriqué par l'entreprise Schott-Rohrglas en Allemagne utilise le principe "thermos" avec plusieurs perfectionnements techniques. D'abord, une partie de la paroi intérieure du tube extérieur est un réflecteur cylindrique et ensuite, le tube intérieur sert comme absorbeur aussi bien qu'échangeur de chaleur avec le fluide caloporteur. L'utilisation des métaux est réduite à des traitements de surface du tube et les différentes pièces du collecteur [32].

## III.5 Constituants d'un capteur solaire plan

Un capteur plan est constitué essentiellement d'une couverture transparente, d'un absorbeur, d'un fluide caloporteur, d'une isolation thermique et d'un coffre.

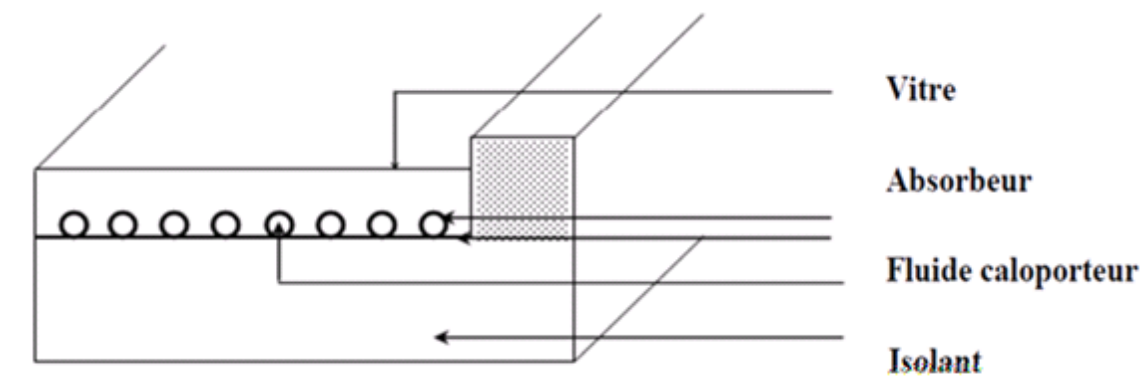


Figure III.7 Composants d'un capteur solaire plan

### III.5.1 L'absorbeur

L'absorbeur est l'élément central du capteur solaire, il absorbe le rayonnement solaire global de courtes longueurs d'onde et le convertit en chaleur. L'absorbeur doit assurer les fonctions suivantes [29] :

- Absorber la plus grande partie du rayonnement incident.
- Transmettre la chaleur produite par cette absorption vers le fluide caloporteur.
- N'accepter que le minimum d'échanges thermiques vers l'extérieur pour rendre efficace cette partie [24].

Métal	Conductivité thermique (w/m.k)	Chaleur massique (j/kg.k)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Diffusivité (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)
Cuivre	384	398	8900	108
Acier inox	14	460	7800	4
Aluminium	204	879	2700	86

Tableau III.1 Caractéristiques thermo-physiques de matériaux métalliques [24]

### III.5.2 Les vitre

Elles sont transparentes aux rayonnements solaires mais opaques au rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde émis par l'absorbeur (effet de serre). En général, elles sont en verre de faible teneur d'oxyde de fer, parfois en plastique, mais celui-ci vieilli mal sous l'action des ultraviolets. D'habitude, on ne dépasse pas deux vitrages car au-delà le gain obtenu sur les pertes thermiques est compensé par les pertes de réflexion et réfraction.

### III.5.3 Le fluide caloporteur

Le fluide de travail est chargé de transporter la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température. Il est choisi en fonction de ses propriétés physiques et chimiques, il doit posséder une conductivité thermique élevée, une faible viscosité et une capacité calorifique élevée. Le fluide caloporteur doit satisfaire aux conditions suivantes [29] :

- Faible viscosité et bas point de coulée
- Haut point d'ébullition et bas point de congélation
- Coefficient de transfert thermique élevé

### III.5.4 Le coffre

Le coffre fabriqué couramment en aluminium ou en bois, enferme l'absorbeur et l'isolation thermique du capteur, les protégeant ainsi contre l'humidité et les détériorations mécaniques [29].

### III.5.5 L'isolation

Les pertes de chaleur principales du capteur sont de la couverture, puisque les cotées et le dos peuvent être isolés, alors que la face avant doit être exposée au rayonnement solaire et à la température ambiante. C'est pour cela l'air est utilisé fréquemment comme une isolation contre les pertes de chaleur conductrices et convectives de l'absorbeur vers la vitre [31].

Matériaux	Facteur de transmission solaire %	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Chaleur massique (j/kg.k)	Diffusivité (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)
air	0.025	1.2	1003	208
Mousse de polyuréthane	0.029	30	1600	6
Laine de verre	0.036	40	840	10.7
Polyester expansé	0.040	20	1500	13.3
Papier de journal comprimé	0.105	130	1340	6
Bois de pin	0.118	500	1210	1.95
plâtre	0.35	800	800	5.5

Tableau III.2 Propriétés thermiques de quelques matériaux isolants [31]



### III.6 Applications des capteurs solaires plans à air

#### III.6.1 Chauffages et climatisation des habitations

Le principe est présenté sur la Figure III.8 consiste à chauffer le fluide dans le capteur solaire, l'air est véhiculé par ventilateur vers des points d'utilisations [31].

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

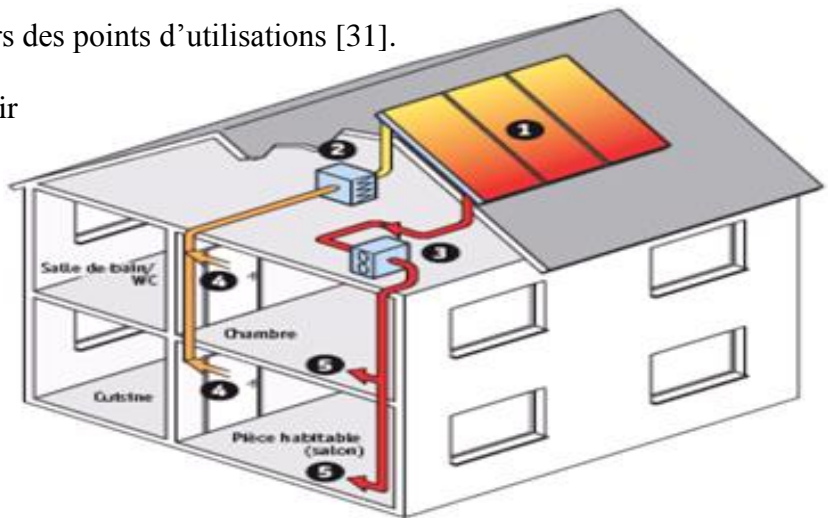


Figure III.8 Chauffage et climatisation des habitations

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

#### III.6.2 Le séchage

Utilisation des capteurs solaires à air pour le séchage des récoltes est idéale dans le cas du thé, du café, des fruits, des fèves, du riz, des épices, du caoutchouc, du cacao et du bois [31].



Figure III.9 Séchoir solaire

### III.7 Les différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire

Un capteur solaire met en jeu simultanément les trois modes de transfert thermique : convection, conduction, et rayonnement.

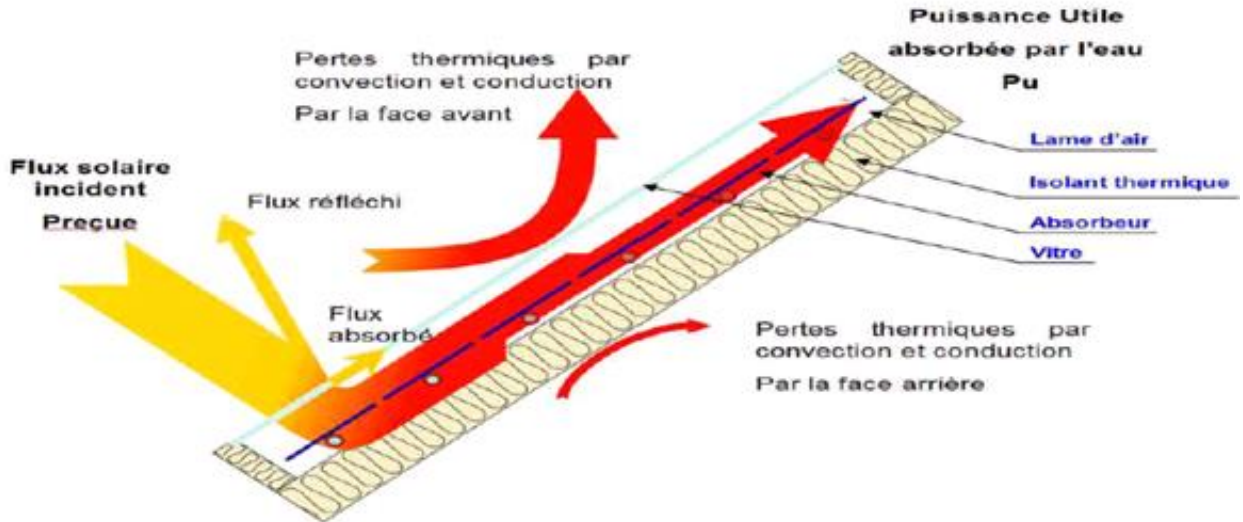


Figure III.10 Les différents échanges thermiques dans un capteur plan

#### III.7.1 La convection

La convection est un transport d'énergie dû à des mouvements macroscopiques. On distingue deux types de convection [29] :

- **La convection forcée** : le mouvement du milieu est engendré par un dispositif externe (le vent, une pompe, un ventilateur...etc) [26].

- **La convection naturelle** : le mouvement du fluide est engendré par les variations de densité causées par des variations de température au sein du fluide, tel est le cas de la thermo circulation.

Le transfert thermique convectif est régi par la loi de Newton [26] :

$$q = h s. (T_p - T_f) \quad (14)$$

$q$  : Le flux échangé par convection.

$h$  : Coefficient de convection.

$s$  : Surface de la paroi solide en contact avec le fluide.

$T_p$  : Température de la paroi solide.

$T_f$  : Température du fluide.



Dans un capteur plan l'échange par convection s'effectue entre :

- La vitre et l'ambiance, par convection libre ou forcée par le vent.
- La vitre et la plaque de l'absorbeur par convection libre.
- Le tube et le fluide par convection libre.
- Entre le fluide et l'isolant par convection libre.
- Entre l'isolant et l'ambiance par convection libre ou forcée par le vent.

### III.7.2 La 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 [26] :

$$q = -K * A * \text{grad } T \quad (15)$$

$q$  : Flux de chaleur.

$K$  : Coefficient de conductivité thermique.

$A$  : Surface d'échange.

Dans le capteur plan les échanges par conduction existent principalement entre :

- Les faces supérieures et inférieure de la vitre hcv.
- Les faces supérieures et inférieure de l'isolant his.
- L'absorbeur et l'isolant hcvai.

### III.7.3 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.

La loi fondamentale du rayonnement est celle de Stefan-Boltzmann [29] :

$$q = \epsilon * \Gamma * T^4 \quad (16)$$

$q$  : Densité de flux de chaleur émis par le corps.

$\varepsilon$  : Émissivité thermique du matériau.

$\Gamma$  : Constante de Stefan-Boltzmann évaluée à  $5.6 \cdot 10^{-8} \text{ w.m}^{-2}\text{K}^{-4}$

$T$  : 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.

### III.8 L'effet de serre

Le rayonnement solaire (figure III.11), symbolisé par les flèches jaunes, ne traverse pas entièrement le vitrage **V** du capteur car une petite partie (**Pr1**) est réfléchié par la vitre, surtout si l'angle d'incidence est important. Malgré l'excellente transparence du verre, une petite partie (**Pv1**) de l'énergie reçue sera absorbée par le verre. Le rayonnement reçu par l'absorbeur **a**, une partie (**Pd**) sera réfléchi ou communiquée à l'air ambiant par convection. Une partie (**Pr2**) de **Pd** va traverser la vitre et sera perdue définitivement, une autre partie (**Pv2**) sera absorbée par la vitre et le reste retournera vers l'absorbeur (**Pa2**). On négligera les pertes au travers de l'isolant.

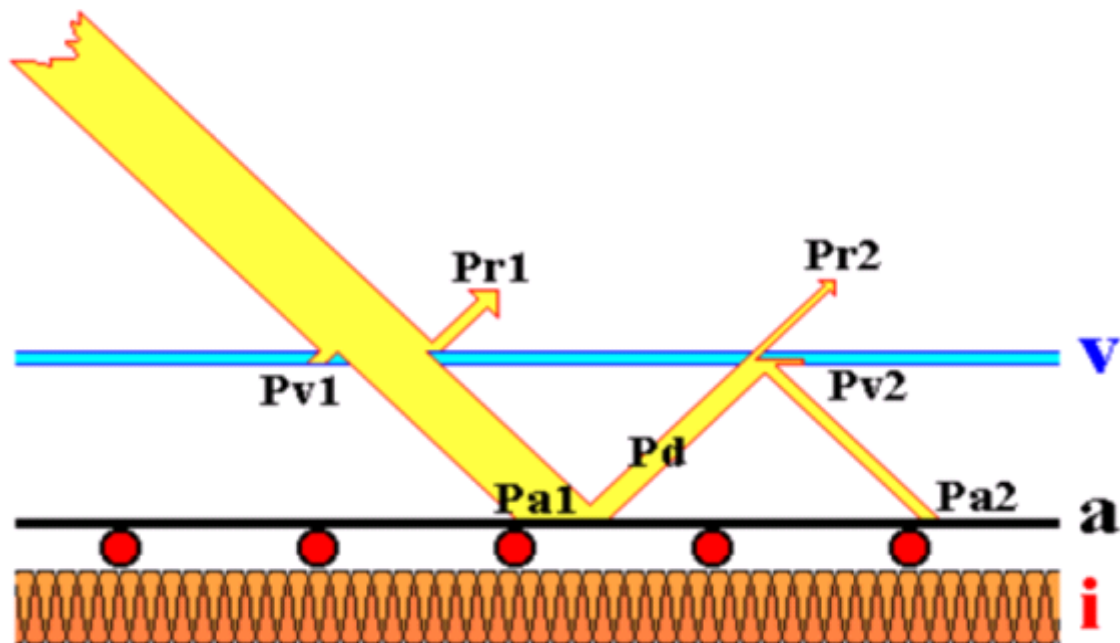


Figure III.11 Principe de l'effet de serre

### III.9 Le bilan thermique d'un capteur solaire plan

Le fonctionnement thermique d'un capteur solaire se traduit comme suit [17][33] :

La surface absorbante reçoit l'énergie solaire incidente qu'elle transmet à un fluide caloporteur. Cette transformation s'effectue plus ou moins efficacement selon, d'une part les caractéristiques des éléments constituant le capteur solaire et d'autre part selon les propriétés thermo-physiques du fluide caloporteur. Le capteur est le siège de déperditions thermiques, les surfaces chaudes échangent de la chaleur avec l'environnement par rayonnement, par convection et par conduction.

#### III.9.1 Bilan thermique global de la paroi absorbante

Le bilan thermique de la paroi absorbante s'écrit :

$$\varphi_{sa} = \varphi_p + \varphi_u + \varphi_{st} \quad (17)$$

Où :  $\varphi_{sa}$  Flux solaire absorbé

$\varphi_p$  : Flux perdu par la paroi absorbante

$\varphi_u$  : Flux utile transmis au fluide caloporteur

$\varphi_{st}$ : Flux stocké dans le capteur qui s'écrit :

$$\varphi_{st} = M_f C_f (\partial T / \partial t) \quad (18)$$

Où :  $M_f$  : Masse en fluide du capteur.

$i$  : représentant les différents éléments constitutifs du capteur.

$T$  : Température moyenne du capteur.

$t$  : Temps.

La puissance absorbée par le capteur s'écrit :

$$\varphi_{sa} \approx \tau_{cs} \alpha_{ps} G(i, \gamma) * S \quad (19)$$

Où :  $\varphi_{sa}$  : Flux solaire absorbé par la surface exposée (W)

$G^*(i, \gamma)$  : Eclairement (densité de flux) solaire incident sur le capteur (W.m<sup>2</sup>).

$\alpha_{ps}$  : Coefficient d'absorption de la paroi absorbante par rapport au rayonnement solaire.

$\tau_{cs}$  : Coefficient de transmission de la couverture transparente par rapport au rayonnement solaire.

$S$  : Surface de la paroi absorbante.

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

$$\varphi_u = q_{cf} (T_{fs} - T_{fe}) \quad (20)$$

Où :  $q_{cf}$  : Débit calorifique du fluide caloporteur ( $W \cdot ^\circ C^{-1}$ ) = débit massique x capacité calorifique.

$T_{fe}$  : Température du fluide caloporteur à l'entrée de l'absorbeur.

$T_{fs}$  : Température du fluide caloporteur à la sortie de l'absorbeur.

Les déperditions thermiques du capteur sont mises sous la forme :

$$\varphi_p = h_p (T_{pm} - T_a) \quad (21)$$

Où :  $h_p$  Coefficient global de pertes du capteur.

$T_{pm}$  : Température moyenne de la paroi absorbante.

$T_a$  : Température de l'air extérieur.

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

$$T_{pm} = [(3T_{fs} + T_{fe}) / 4] + \Delta T \quad (22)$$

$\Delta T$  : l'écart de température existait entre l'absorbeur et le fluide caloporteur.

### III.9.2 Rendement du capteur

- Le rendement global :

Les performances des capteurs solaires se traduisent par le rendement instantané. Ce rendement se définit comme étant le rapport de l'énergie thermique recueillie par le fluide caloporteur par unité de surface à l'énergie thermique globale reçue du soleil.

$$\eta = \frac{\text{Energie utile recueillie par unité de surface}}{\text{Energie solaire incidente sur le capteur}}$$

$$\eta = \frac{\varphi_u}{G * S} \quad (23)$$

- Le rendement interne :

$$\eta_i = \frac{\varphi u}{\varphi s a} \quad (24)$$

- Le rendement optique :

$$\eta_0 = \frac{\varphi s a}{G * S} \quad (25)$$

### III.9.3 Coefficients des pertes thermiques du capteur solaire

#### III.9.3.1 Coefficients de pertes vers l'avant (Ut)

Le Ut peut être calculé par deux méthodes : itérative et par l'équation de Klein.

##### -Méthode itérative

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

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

$$Ut = \left( \frac{1}{h_{p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{h_w + h_{r,c-a}} \right)^{-1} \quad (26)$$

$h_{r,p-c}$  : estle coefficient d'échange par rayonnement entre l'absorbeur et la couverture. Il donné par l'expression suivant :

$$h_{r,p-c} = \frac{\sigma(T_p^2 - T_c^2)(T_p - T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad (27)$$

D'où  $\varepsilon_p$  et  $\varepsilon_c$  représente respectivement l'émissivité de l'absorbeur et du vitrage.

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

$$h_{r,c-a} = \frac{\epsilon_c \sigma (T_c + T_s) (T_c^2 + T_s^2) (T_c - T_s)}{(T_c - T_a)} \quad (28)$$

### - Méthode de Klein

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

$$Ut = \left[ \frac{N}{\frac{c}{T_{p,m}} \left[ \frac{T_{p,m} - T_a}{N+f} \right]^e + \frac{1}{h_w}} \right]^{-1} + \frac{\sigma (T_{p,m} - T_a) (T_{p,m}^2 + T_a^2)}{(\epsilon_p + 0.00591 N * h_w)^{-1} + \left( \frac{2N+f-1+0.133\epsilon_p}{\epsilon_g} \right)^{-N}} \quad (29)$$

D'où : N : nombre de couverture.

$$f : (1+0.089*h_w - 0.1166*h_w*\epsilon_p)(1+0.07860*N).$$

$$c = 520*(1.0.000051*\beta^2) \quad \text{avec } 0c^\circ < \beta < 70c^\circ.$$

et pour  $70c^\circ < \beta < 90c^\circ$ , prendre  $\beta = 70c^\circ$ .

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

$\epsilon_p$  : Emittance du vitrage.

$\epsilon_g$  : Emittance de l'absorbeur.

$T_a$  : température ambiante K

$T_{p,m}$  : température moyenne de l'absorbeur.

$h_w$  : coefficient du transfert thermique du vent.

### III.9.3.2 Coefficient de pertes thermique vers l'arrière

$$U_b = \frac{\gamma_{isol}}{e_{isol}} \quad (30)$$

### III.9.3.3 Coefficient de pertes latérales

$$U_{lat} = \frac{\gamma_{i,lat} e_b p_b}{e_{lat} s} \quad (31)$$

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

$e_b$  : Épaisseur du boîtier.

$p_b$  : périmètre du boîtier.

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

## III.10 Conclusion

Les capteurs solaires à air sont importants dans les applications nécessitant des températures basses et modérées, telles que le chauffage des locaux, et le séchage qui est une opération souvent nécessaire dans de nombreux processus (agro-alimentaire, matériaux de construction, bois...).

Nous avons vu dans ce chapitre une étude générale sur les capteurs solaire et tous qui dépendent de ses types, ses composantes, et le domaine d'utilisation. En plus, il contient également les équations mathématiques nécessaires pour les pertes thermique départ et d'autre.



## ***CHAPITRE IV***

***Etude expérimentale***



## **IV.1 Introduction**

En raison de l'insuffisance de l'échange thermique réalisée dans le capteur solaire plan à air entre le fluide et l'absorbeur, il est intéressant d'apporter des améliorations pour de meilleures performances ou une meilleure efficacité thermique.

Dans cette étude, nous allons nous intéresser à l'optimisation d'un écoulement forcé d'un capteur solaire plan à air double passe sans recirculation d'air.

Ce capteur existe déjà et fait partie d'un banc d'essai réalisé à l'unité de recherche des énergies renouvelables en milieu saharien (URER.MS) dans la wilaya d'Adrar par Mr BICHARA.

Cependant, l'idée pratique de ce travail est de comparer les veines d'air (entre le vitrage et l'absorbeur) et (entre l'absorbeur et l'isolateur) et cela avec un écoulement forcé.

## **IV.2 Données du lieu**

Les essais expérimentaux ont été menés au niveau de l'unité de recherche des énergies renouvelables en milieu saharien (URER.MS) dans la wilaya d'Adrar qui se caractérise par les données suivantes :

- Latitude :  $27.88^\circ$  degré.
- Longitude :  $-0.17^\circ$  degré.
- Altitude : 264 m.
- Albédo : 0.35.

### IV.3 Constituant du dispositif [17]

Le capteur solaire est constitué comme suit :

- une caisse en métal de 195\*87.3\*3.5cm dans laquelle s'étale le polystyrène d'isolation.
- Une vitre transparente comme couverture pour la création de l'effet de serre.
- une plaque métallique mince, en acier inox peinte en noir utilisée en guise de plaque absorbante qui absorbe de la chaleur et transmet cette dernière vers le fluide caloporteur.
- l'isolation vers l'arrière est assurée par le revêtement du polyuréthane dans le boîtier.
- Les veines d'air dynamiques d'une hauteur de 2cm entre vitre-absorbeur et 2cm entre l'absorbeur et l'isolateur qui comprennent l'air depuis l'enceinte du capteur.

### IV.4 Paramètre et caractéristiques du capteur solaire

Paramètre	Caractéristique
coffre	Acier isolé; épaisseur=3.5cm; largeur=87.3cm; longueur=195cm
Couverture	1 vitre; Conductivité = 0.0263 (w/m k); épaisseur=0.4cm largeur = 84cm ; longueur = 194cm
Absorbeur	Tôle en acier inox ; Conductivité = 16.7 (w/m k); épaisseur = 0.52cm ; largeur = 85cm; longueur = 194cm
Matière isolant	Mousse Polyuréthane ; Conductivité = 0.027(w/m k) ; Epaisseur = 3.5cm
Conduit de veine	Canal rectangulaire ; Hauteur : 2cm (vitrage-absorbeur) ; 2cm (absorbeur- isolateur)

Tableau IV.1 paramètre Caractéristique du capteur

On ajoute un élément convergent permettant l'évacuation du fluide et l'emplacement d'un ventilateur aspirant comme le montre la figure (IV.1)

Nous pouvons nommer l'élément cité plus haut « *extracteur* ».

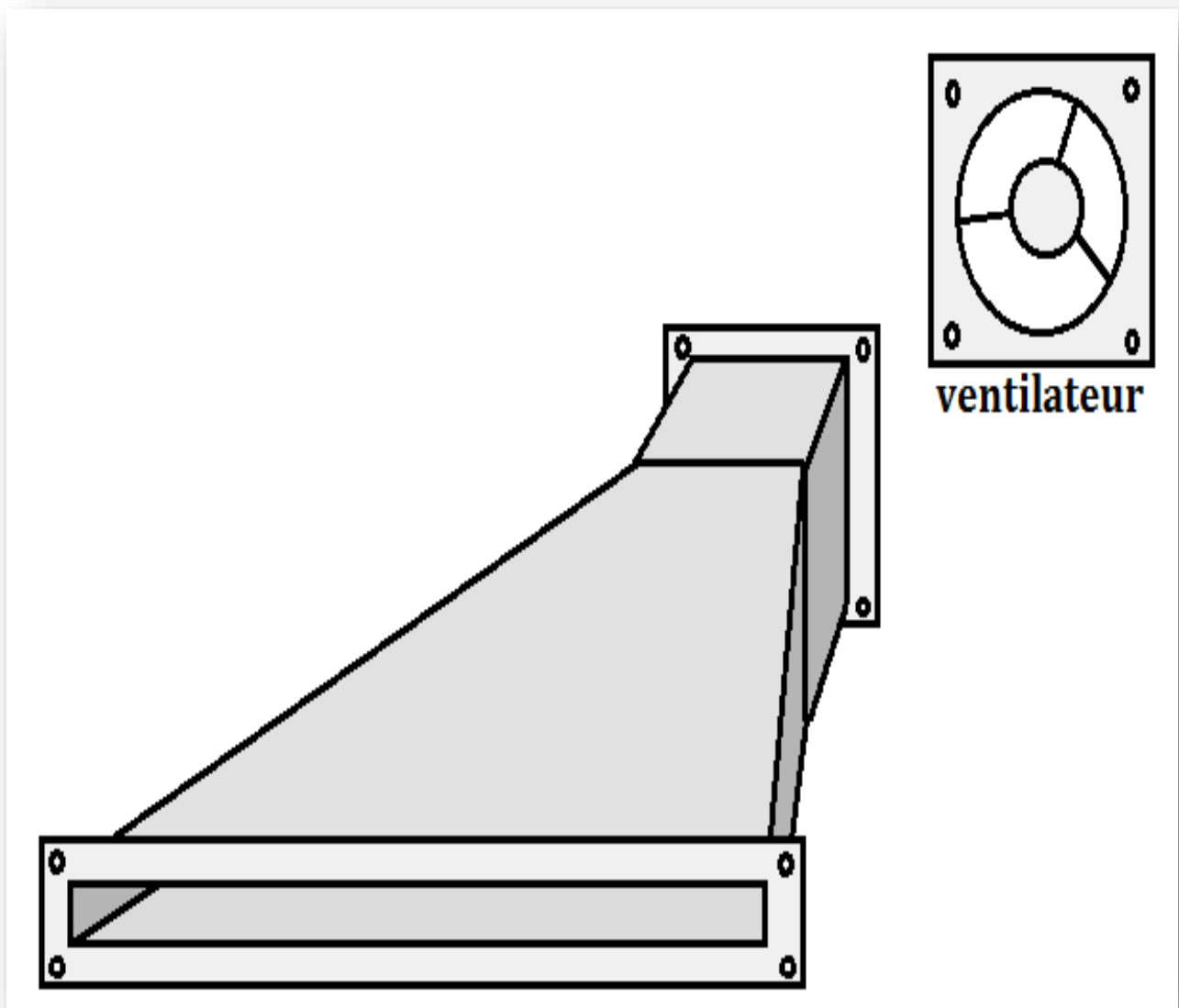


Figure IV.1 La géométrie d'extracteur

IV.5 dimensionnement d'extracteur

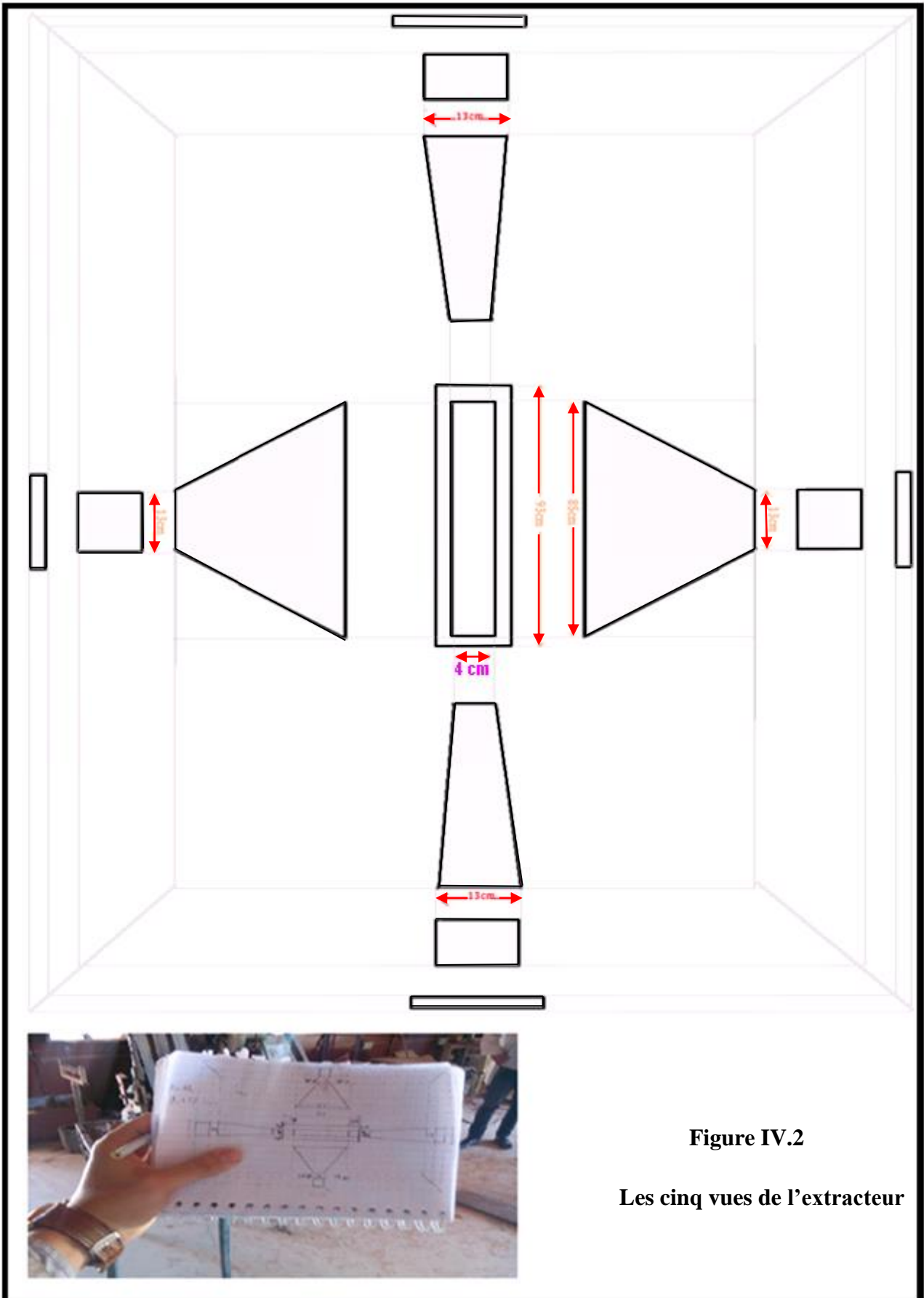


Figure IV.2

Les cinq vues de l'extracteur

## IV.6 Equipements pour la réalisation

Avant tout, il faut rassembler tous les matériels nécessaires pour ce travail. Cependant les équipements utiles à cette réalisation sont entre autres les scies de coupage, poste à souder, les baguettes à souder, casque sécurité, l'étau, le mètre, joint autocollant, les colles, chignole électrique, marteau, l'équerre, la peau de chameau et d'autres outils nécessaire. (Voire la figure ci-après)

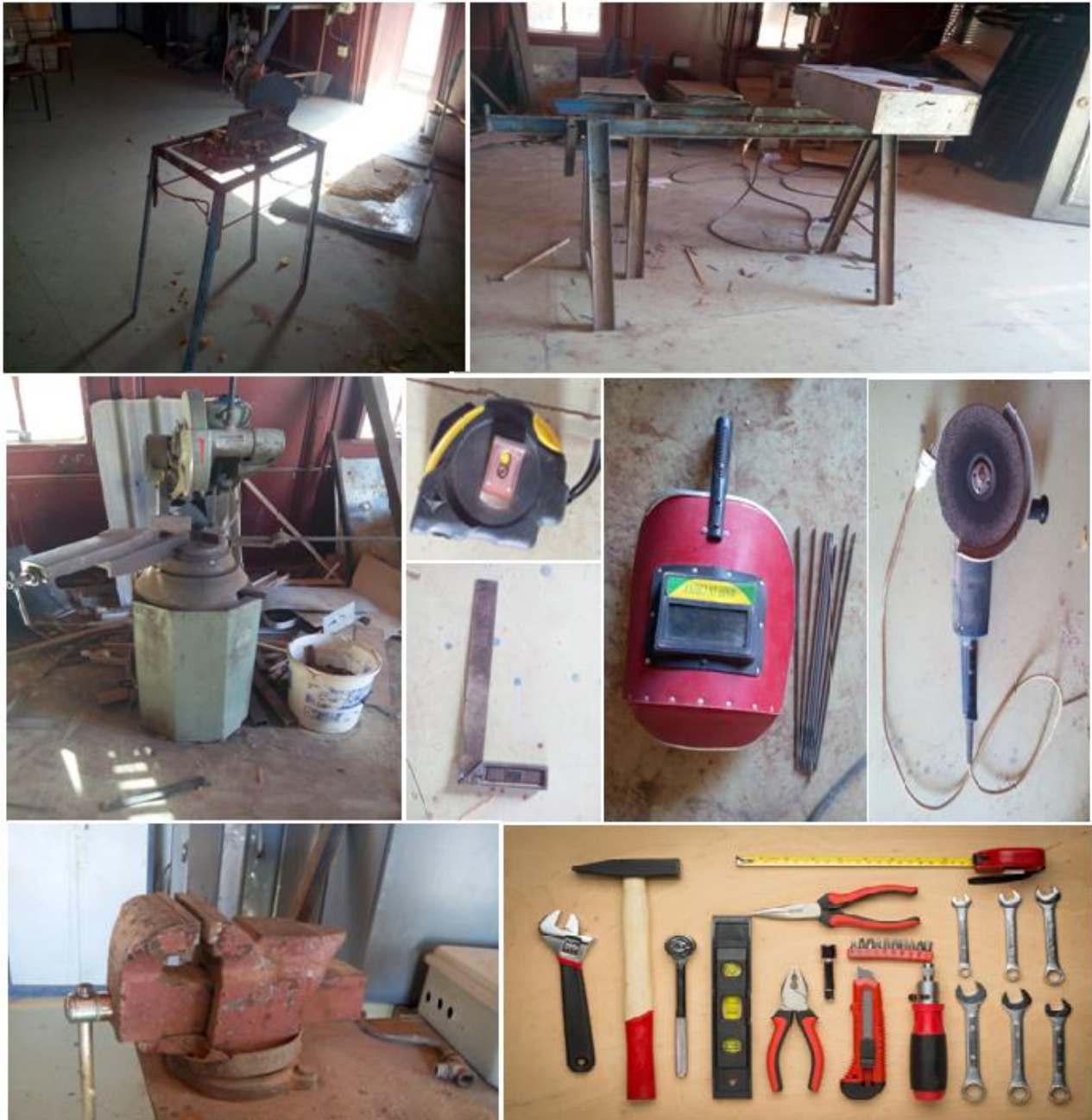


Figure IV.3 Outils utilisées pendant la réalisation pratique



## **IV.7 Préparation de l'extracteur**

Cette pièce est en acier inox, découpée et soudée selon les mesures de la conception (Figure IV.2). Pour isoler les surfaces extérieures de l'extracteur, on doit utiliser le polystyrène comme isolant. Ce dernier est muni d'une couche fine de papier aluminium pour permettre l'augmentation du taux d'isolation thermique comme le montre les figures si dessous.



**Figure IV.4 Préparation d'extracteur**



**Figure IV.5 Placement de l'isolation (polystyrène)**



## IV.8 Placement de l'extracteur sur le capteur

Avant cette étape nous avons fermé le passage entre le vitrage et l'absorbeur de la première veine, pour prendre uniquement les résultats de la deuxième veine d'air (entre l'absorbeur et l'isolateur). Par contre dans la deuxième configuration on ferme le passage entre l'absorbeur et l'isolateur (Écoulement au-dessus de l'absorbeur).

Pour l'emplacement de l'extracteur on ajoute des joints pour minimiser les pertes. En dernier ressort, nous avons fixé l'extracteur sur le capteur à l'aide de vis.



Figure IV.6 Placement de l'extracteur



## **IV.9 Placement du ventilateur**

Mais avant cette étape nous avons placé un thermocouple type (K) à la sortie de l'extracteur.

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



**Figure IV.7 Placement du ventilateur**



## IV.10 Fixation de capteur

Nous avons fixé le capteur et orienté vers le sud avec un angle d'inclinaison de  $56.09^\circ$ , c'est la meilleure inclinaison pour cette saison d'hiver (février, mars) à Adrar.

A l'aide du catalogue de l'URER.MS, on doit se baser sur les paramètres et coordonnées géographiques du site donné qui sont comme suit :

- la latitude : sa valeur est de  $27.88^\circ$  Nord.
- la longitude : sa valeur est  $(-0.17^\circ)$  Ouest.
- l'altitude : 264m.
- l'albédo : 0.35.



Figure IV.8 Support de fixation





**Figure IV.9** Fixation du capteur sur le support



## IV.11 Description des appareils de mesure

Durant le déroulement de l'expérimentation et pour déterminer les performances thermiques du capteur solaire à air dont les dimensions et les caractéristiques géométriques sont indiquées dans le tableau IV.1, nous avons utilisé des instruments indispensables pour mesurer un certain nombre de paramètres très utiles pour le déroulement des manipulations, dont les indications sont illustrées par les figures (IV.11, IV.12, IV.13, IV.14)

- 1- Un pyranomètre électronique mesure le rayonnement global.
- 2- Des thermocouples en fer constantan qui sont reliés à un module à 20 voies.
- 3- Instrument d'acquisition des données.
- 4- Régulateur de vitesse (variateur de tension).



Figure IV.10 Appareils de mesure

### IV.11.1 Mesure de l'éclairement

L'éclairement solaire est mesuré par un pyranomètre type (Kypp & Zonnen), placé en parallèle vers les parties supérieures du capteur.



Figure IV.11 pyranomètre

### IV.11.2 Mesure des températures

Les températures d'entrée et de sortie du fluide caloporteur sont mesurées à l'aide de thermocouples de type K, les 6 thermocouples et le pyranomètre sont introduites dans un module de 20 voies.



Figure IV.12 Les thermocouples et le module

### IV.11.3 L'acquisition de données

On a utilisé une acquisition de données de marque « FLUKE 2638 A HYDRA » permettant de stoker les données acquises et enregistrer les valeurs provenant des thermocouples et de pyranomètre.



Figure IV.13 L'acquisition

### IV.11.4 Variateur de tension de ventilateur

On a utilise un régulateur de vitesse de marque CMC 220V- 240V / 50Hz-60Hz; Fonction 5 vitesses avec position On/Off.



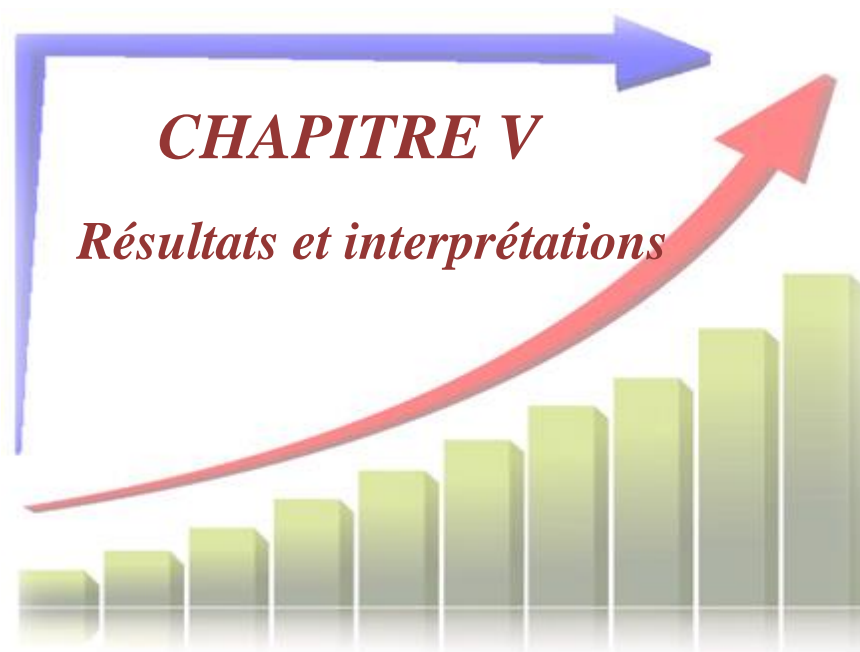
Figure IV.14 Régulateur

## **IV.12 Conclusion**

Dans ce chapitre on a présenté le dispositif expérimental à savoir : le banc d'essai utilisé et les différentes caractéristiques d'un capteur solaire plan à air double passe sans retour d'air fonctionnant en convection forcée. Sa réalisation a duré pratiquement deux semaines (du 26/02/2017 au 08/03/2017).

Nous avons également présenté les instruments de mesure utilisés et les étapes préalables pour les essais.

Ce capteur a été réalisé au sein de l'unité de recherche des énergies renouvelables en milieu saharien (URER.MS) dans la wilaya d'Adrar.



## **V.1 Introduction**

Dans ce chapitre nous allons présenter et interpréter les résultats des tests effectués sur le capteur solaire réalisé en mesurant les différentes températures, le rayonnement solaire global, la vitesse de l'air à la sortie et le débit.

Les expériences menées sont réalisées sur un capteur solaire plan à air double passe sans recirculation d'air installé sur le site de l'unité de recherche des énergies renouvelables en milieu saharien (URER.MS) dans la wilaya d'Adrar. Caractérisée par son climat saharien, Adrar est située à une latitude de  $27.88^\circ$  et une longitude de  $-0.17^\circ$ . Son altitude par rapport au niveau de la mer est de 264 m.

Le capteur est orienté face au Sud et placé sur des supports inclinés de  $56.09^\circ$  par rapport à l'horizontale.

Nous avons étudié trois configurations :

Configuration N-1: capteur solaire plan à air double passe sans retour d'air avec une seule entrée et une seule sortie (entrée de l'air par le bas entre l'absorbeur et l'isolateur).

Configuration N-2: capteur solaire plan à air double passe sans retour d'air avec une seule entrée et une seule sortie (entrée de l'air par le haut entre le vitrage et l'absorbeur).

Configuration N-3: capteur solaire plan à air double passe sans retour d'air avec deux entrées et une seule sortie (les deux veines sont ouvertes).

Les expériences ont été faites durant la saison d'hiver pendant neuf jours (de 09/03/2017 au 18/03/2017). Le déroulement des tests s'est déroulé de 7h00 à 19h00.

Il est à noter que les tests des deux veines devant normalement être effectués le même jour, malheureusement cela n'a pas été possible pour raison de la disponibilité d'un seul banc d'essai.

Pour cette raison, nous avons choisi des jours dont le climat se rapproche le plus possible.

Le traçage des résultats ont été obtenus à l'aide du logiciel «ORIGIN 9».

## V.2 Notation des thermocouples

Ray : l'éclairement solaire.

Te1 : température de l'air à l'entrée du capteur entre le vitrage et l'absorbeur (veine 1).

Te2 : température de l'air à l'entrée du capteur entre l'absorbeur et l'isolateur (veine 2).

Tp1 : température de la plaque absorbante vers le bas du capteur.

Tp2 : température de la plaque absorbante vers le haut du capteur.

Rapport-gratuit.com  
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tv : température de vitrage du capteur.

Ts : température de l'air à la sortie d'extracteur (avant le ventilateur).

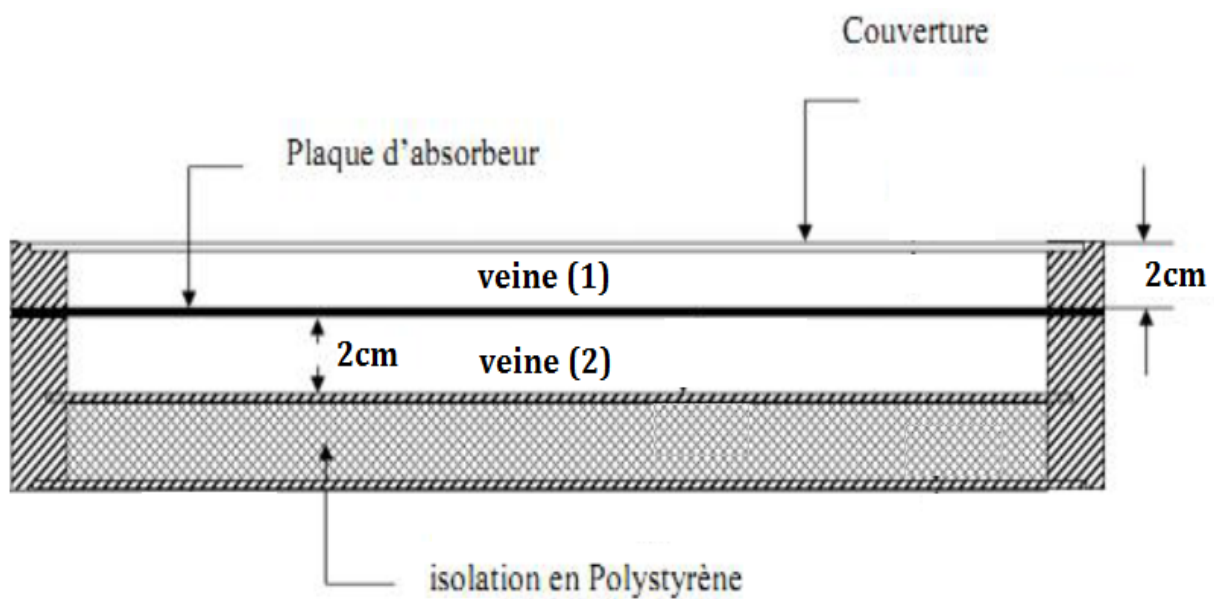


Figure V.1 Section transversale du capteur solaire



### V.3 Présentation de «ORIGIN 9»



Origin9 est un logiciel de traitement et d'analyse de données scientifiques pour environnement Microsoft Windows développé par OriginLab.

Il permet notamment de tracer des graphes 2D et 3D et possède des fonctions d'analyse de pics. Il est aussi capable d'importer des fichiers de divers formats tels que Excel, ASCII, Mathematica ou SigmaPlot, et d'exporter les graphes sous format JPEG, GIF, Tiff etc.

Site officiel (<http://www.originlab.com/>)

## V.4 Résultats

Les résultats sont présentés selon trois configurations :

### V.4.1 Configuration N-1

Après fermeture de la veine (1), nous avons obtenu les résultats de la deuxième veine pendant trois jours avec augmentation pour chaque jour de la vitesse du ventilateur de deux degrés sur le régulateur (1 ; 3 ; 5).

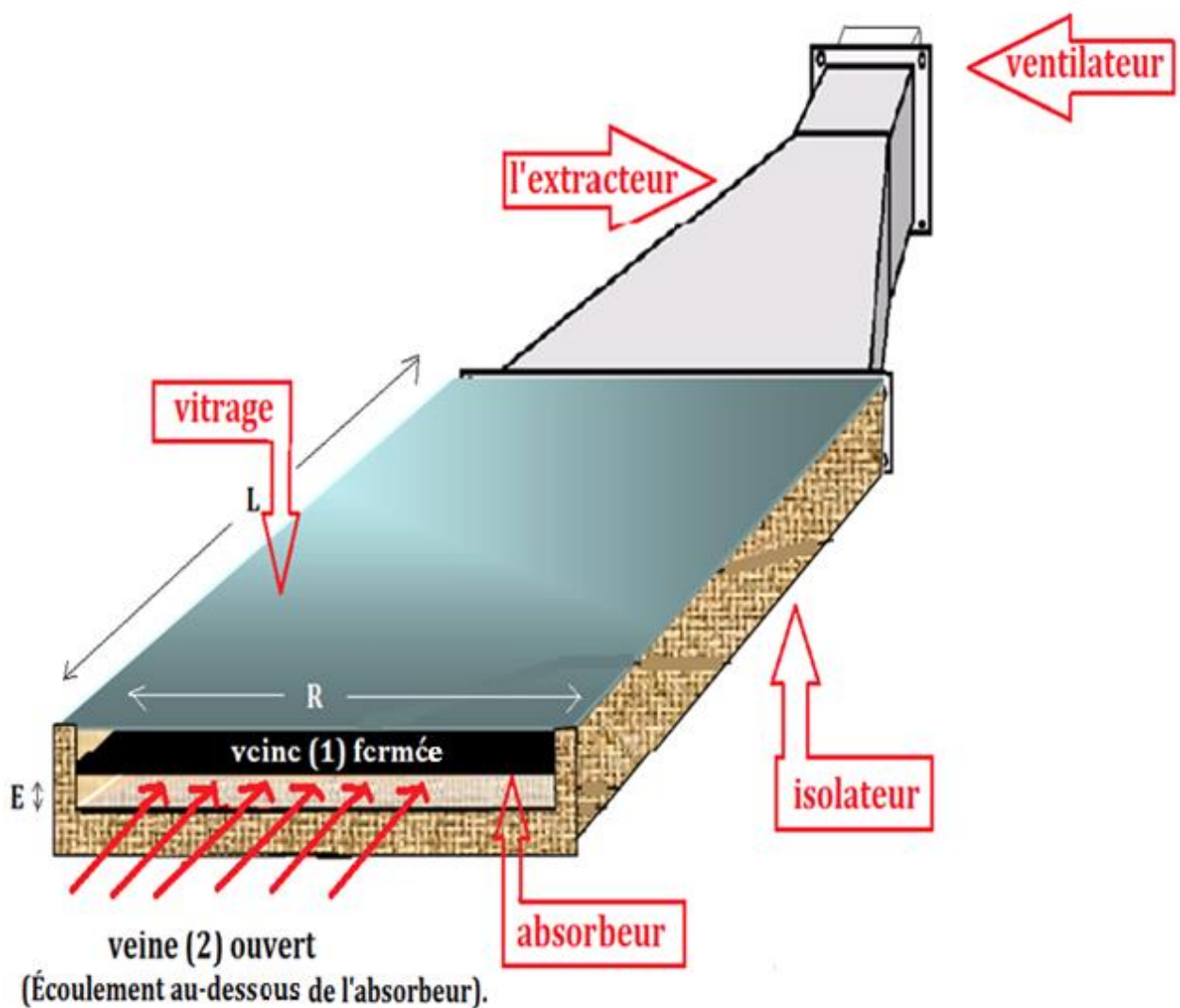


Figure V.2 Schéma de la veine(2) d'écoulement du capteur

### V.4.1.1 Variation du rayonnement incident du 09/03/2017

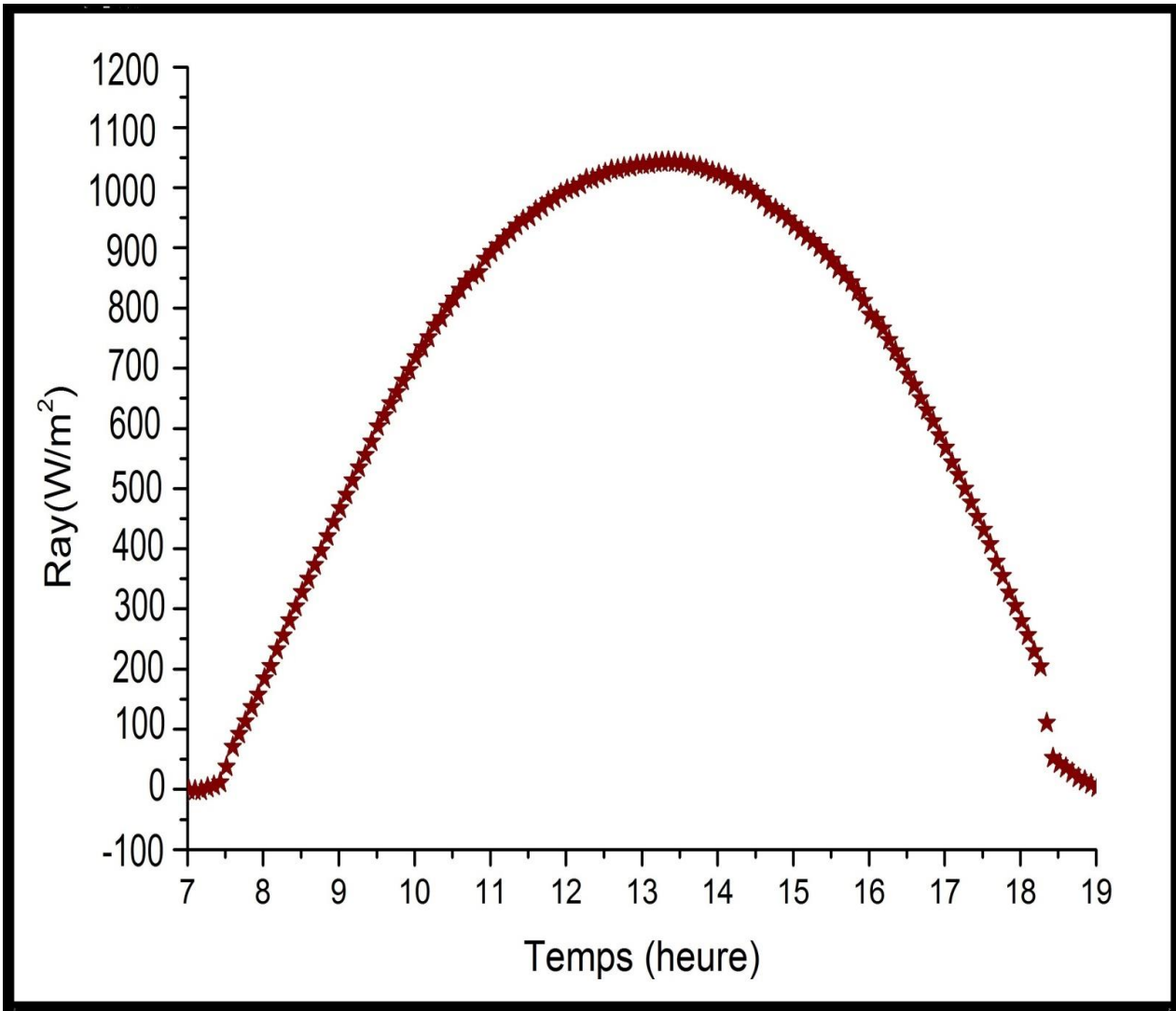


Figure V.3 Evolution du rayonnement solaire global incliné pour la journée de 09/03/2017

La figure V.3 représente la variation du rayonnement solaire global incident pour la journée de 09/03/2017, Un jour type du mois caractérisé par un ciel clair.

La valeur maximale du rayonnement solaire globale incident enregistrée aux environ de 13h28 est égale à 1044  $W/m^2$ .

### V.4.1.2 Variation de température du 09/03/2017

Le débit d'air=0.022 m<sup>3</sup>/s, la vitesse de l'air à l'entrée du capteur= 1.31 m/s. la vitesse de l'air à la sortie du capteur = 1.98 m/s, (le régulateur de vitesse est en position 1).

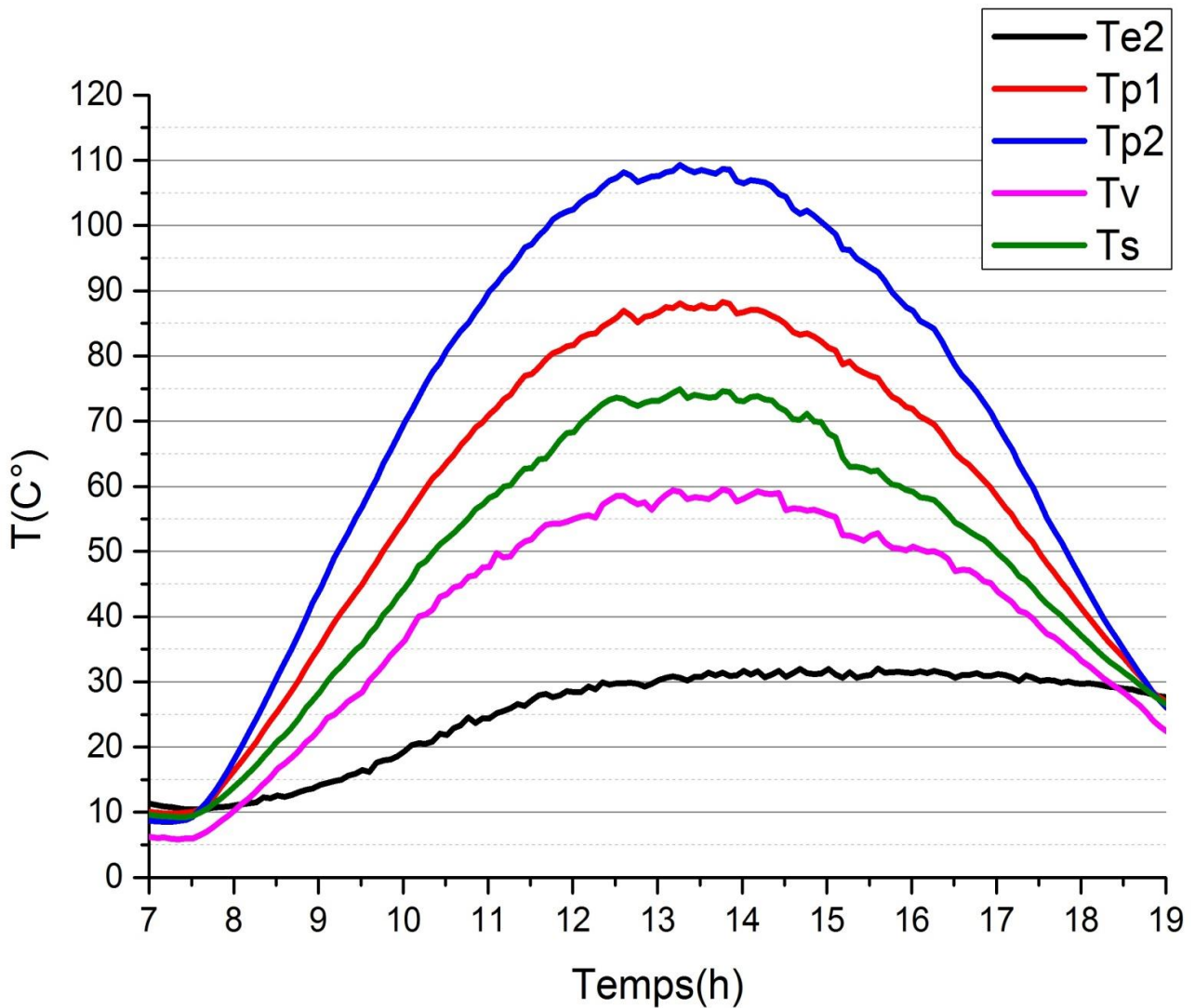


Figure V.4 Evolution des températures (09/03/2017)

Nous constatons sur la figure précédente que l'évolution des températures de l'absorbeur, de la couverture et de l'air à l'entrée et à la sortie, prennent presque la même allure (montent et descendent ensemble). Les trois atteignent leurs valeurs maximales entre 13h00 et 14h00.

### V.4.1.3 Variation du rayonnement incident du 10/03/2017

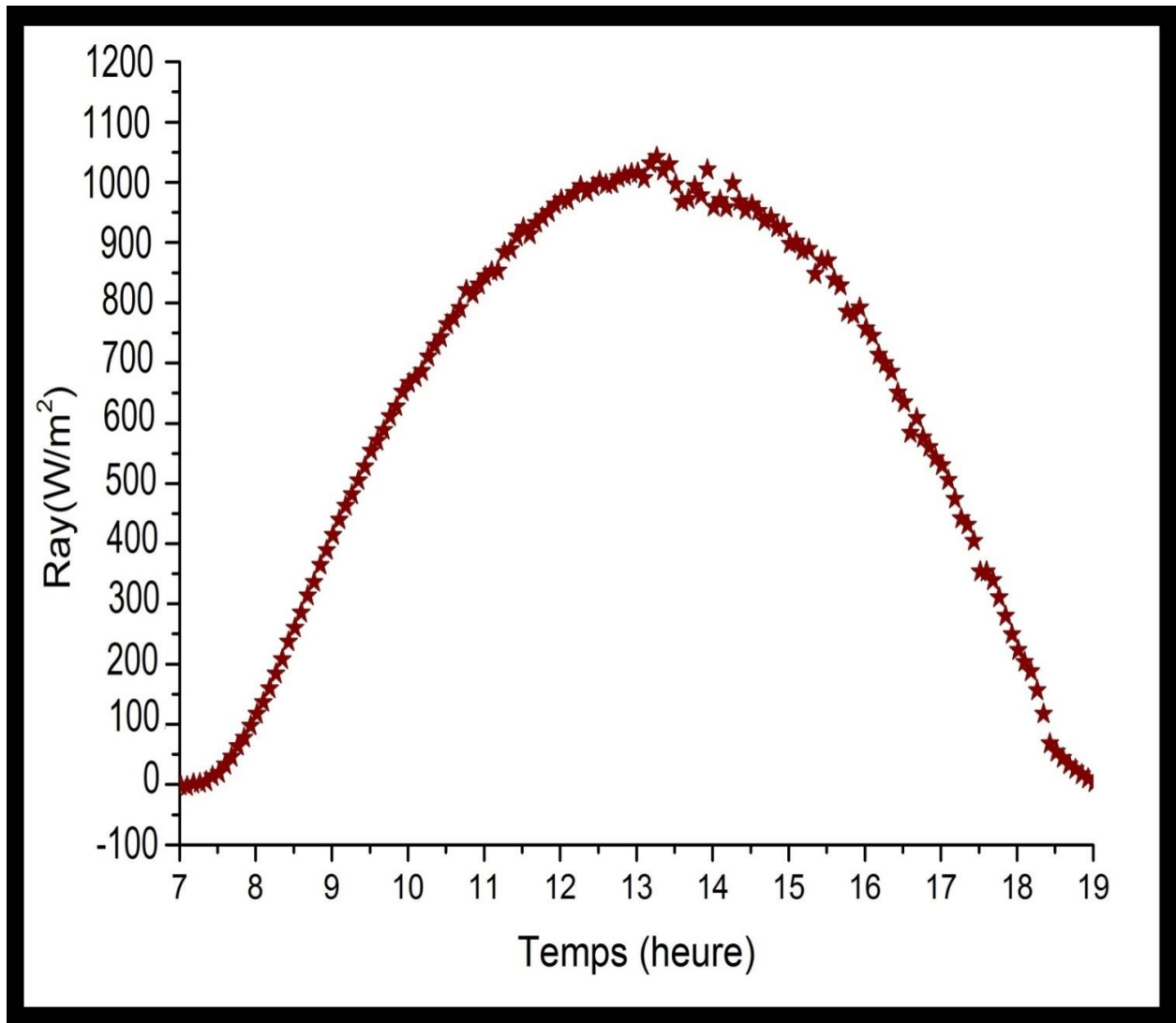


Figure V.5 Evolution du rayonnement solaire global incliné pour la journée de 10/03/2017

La figure V.5 représente la variation du rayonnement solaire global incident pour la journée de 10/03/2017, le ciel est un peu perturbé par le mouvement du vent (de 13h00 – 15h00).

La valeur maximale du rayonnement solaire globale incident enregistrée aux environ de 13h15 est égale à 1041  $W/m^2$ .



#### V.4.1.4 Variation de température du 10/03/2017

Le débit d'air=0.032 m<sup>3</sup>/s, la vitesse de l'air à l'entrée du capteur= 1.89 m/s. la vitesse de l'air à la sortie du capteur = 2.85 m/s, (le régulateur de vitesse est en position 3).

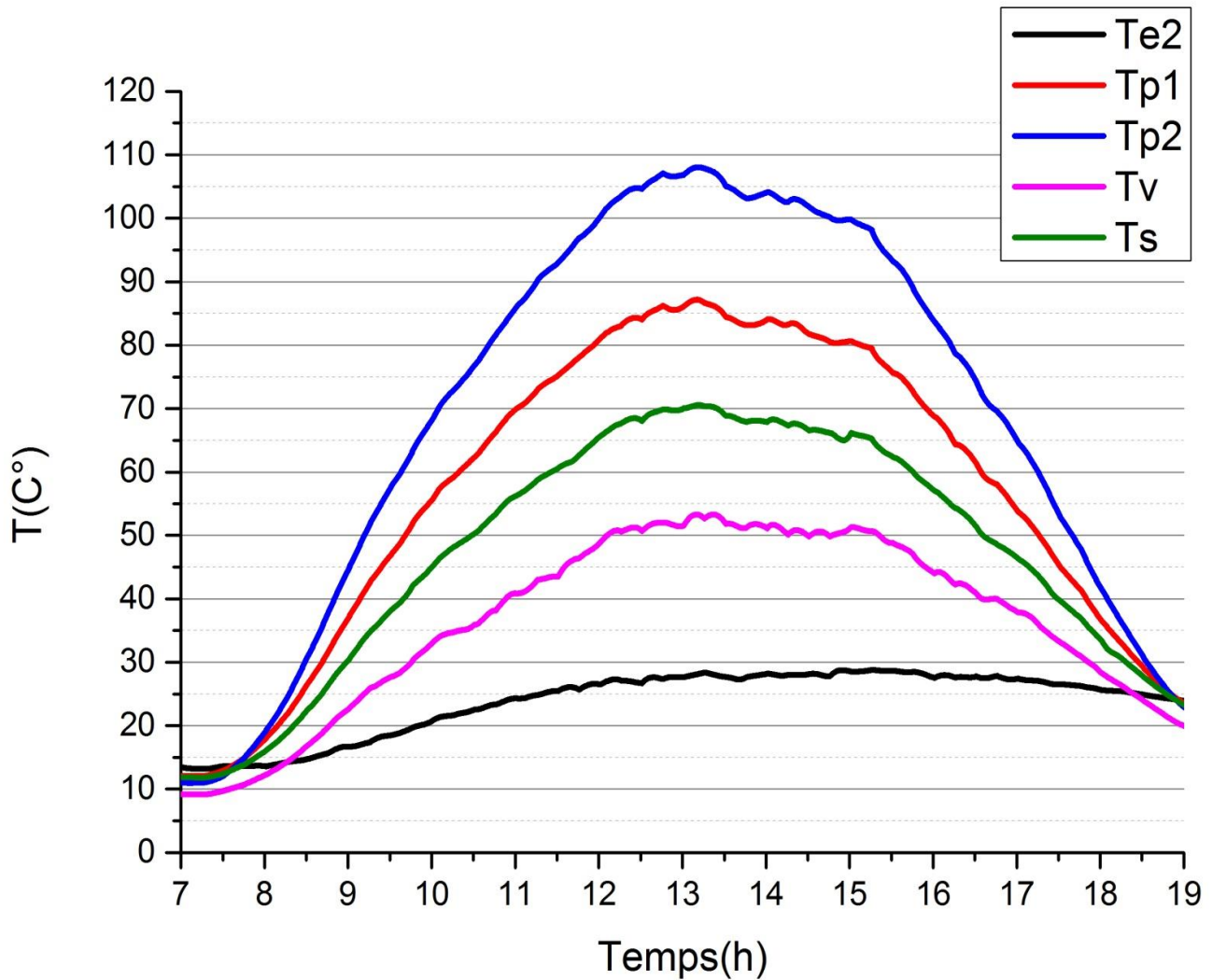


Figure V.6 Evolution des températures (10/03/2017)

La courbe des températures suit une évolution logique en fonction de l'évolution du flux solaire. Les cinq températures atteignent leurs valeurs maximales entre 13h00 et 14h00.

#### V.4.1.5 Variation du rayonnement incident du 11/03/2017

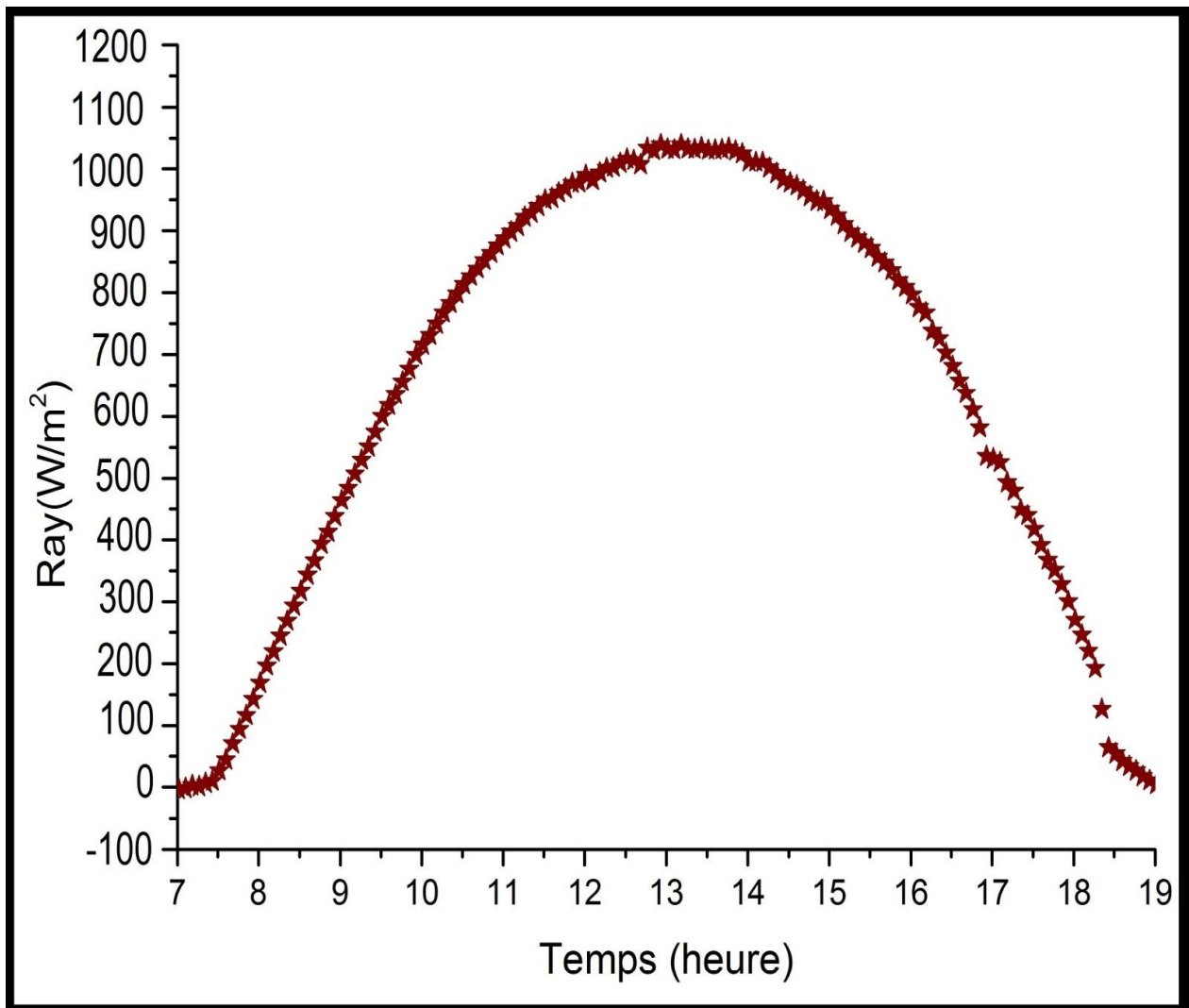


Figure V.7 Evolution du rayonnement solaire global incliné pour la journée de 11/03/2017

La figure V.7 représente la variation du rayonnement solaire global incident pour la journée de 11/03/2017, Un jour type du mois caractérisé par un ciel clair, un vent faible.

La valeur maximale du rayonnement solaire globale incident enregistrée aux environ de 12h58 est égale à 1028 W/m<sup>2</sup>.

### V.4.1.6 Variation de température du 11/03/2017

Le débit d'air=0.033 m<sup>3</sup>/s et la vitesse de l'air à l'entrée du capteur= 1.94 m/s. la vitesse de l'air a la sortie du capteur = 2.95 m/s, (le régulateur de la vitesse de ventilateur est en position 5).

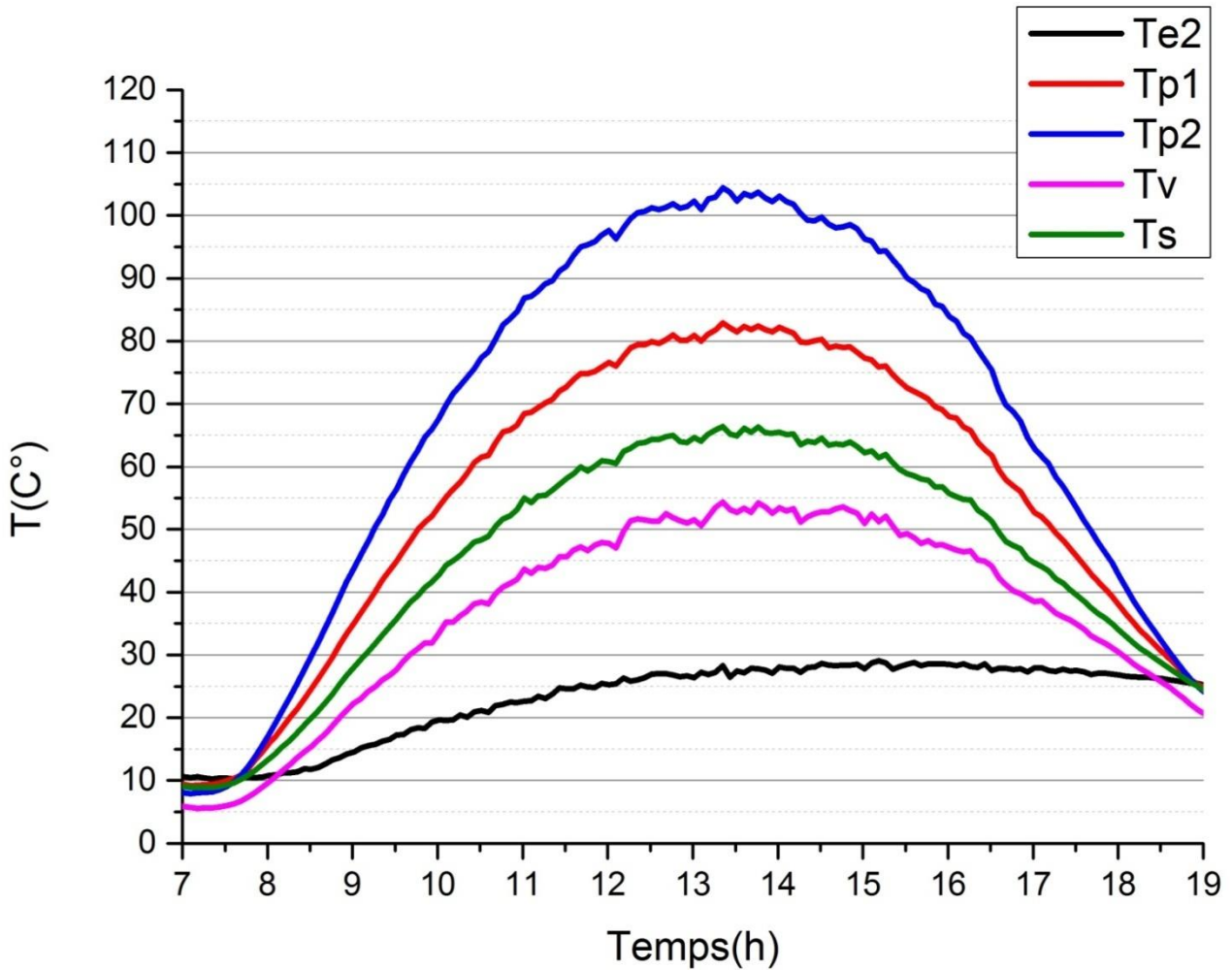


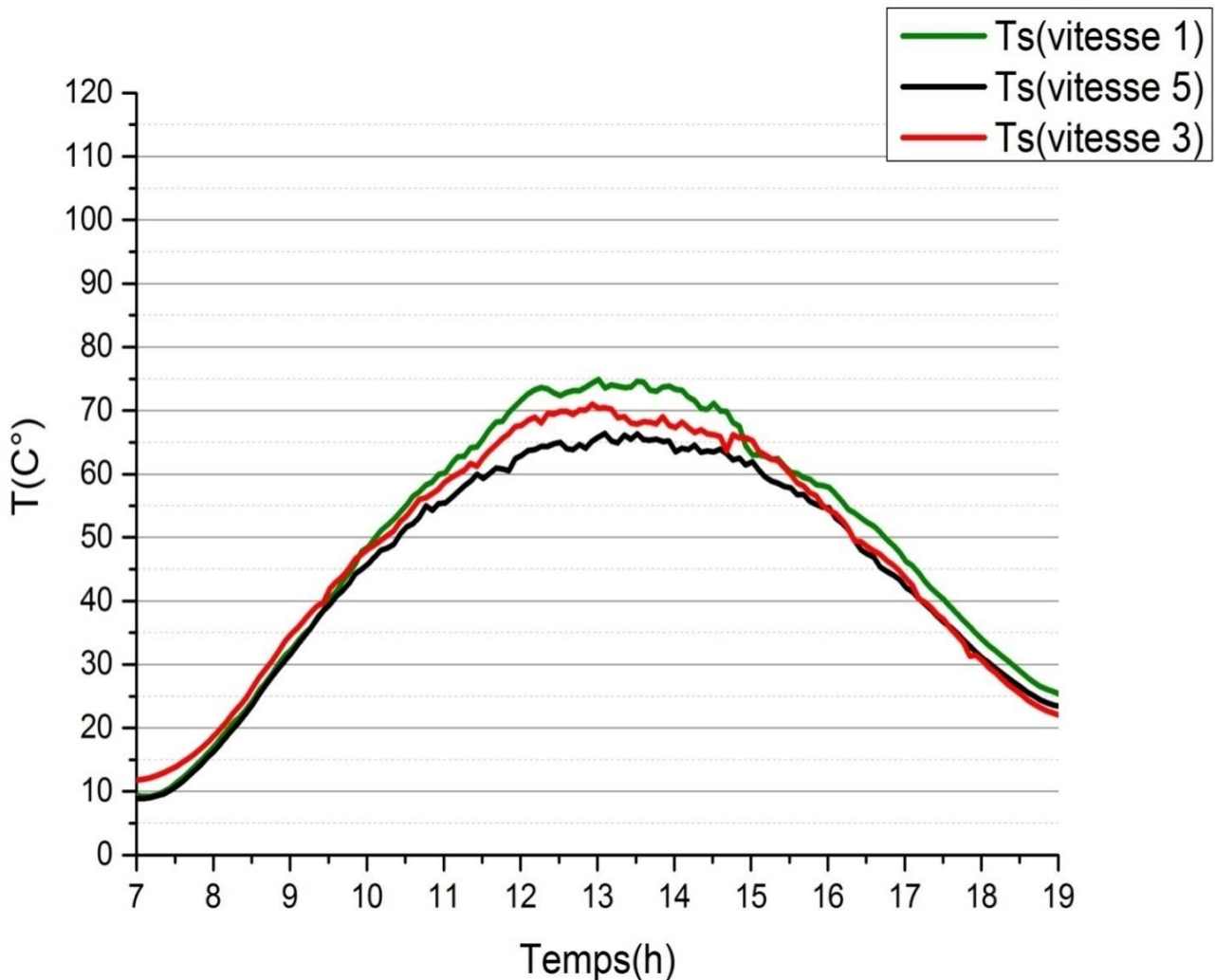
Figure V.8 Evolution des températures (11/03/2017)

Nous constatons sur la figure précédente que l'évolution des températures de l'absorbeur, de la couverture et de l'air à l'entrée et à la sortie, prennent presque la même allure (montent et descendent ensemble). Les trois atteignent leurs valeurs maximales entre 13h00 et 14h00.



### V.4.1.7 Effet de la vitesse d'écoulement sur la température

L'interprétation des courbes des trois jours sur le même graphe permet de faciliter la comparaison.



**Figure V.9 Evolution des trois températures de sortie pour les trois vitesses du ventilateur**

La figure V.9 montre l'effet de l'accroissement de la vitesse d'écoulement sur la température de l'air à la sortie du capteur.

On remarque que la température d'air liée à la vitesse d'écoulement, i.e. plus la vitesse est élevée, plus la température diminue.

### V.4.2 Configuration N-2

Nous avons fermé la veine(2) et obtenu les résultats de la première veine pendant trois jours avec augmentation pour chaque jour de la vitesse du ventilateur de deux degrés sur le régulateur, (1 ; 3 ; 5).

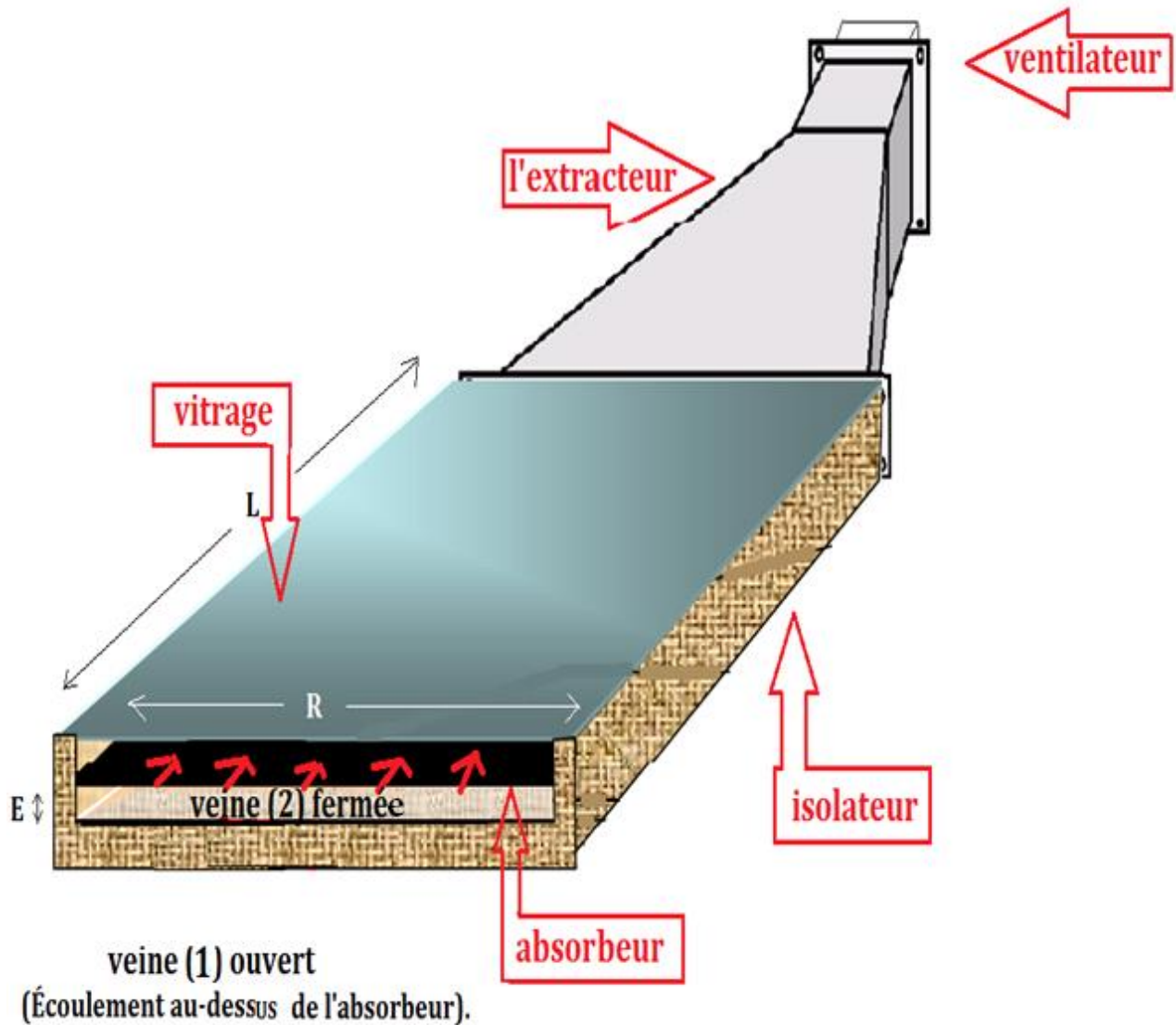


Figure V.10 Schéma de la veine(1) d'écoulement du capteur

## V.4.2.1 Variation du rayonnement incident du 13/03/2017

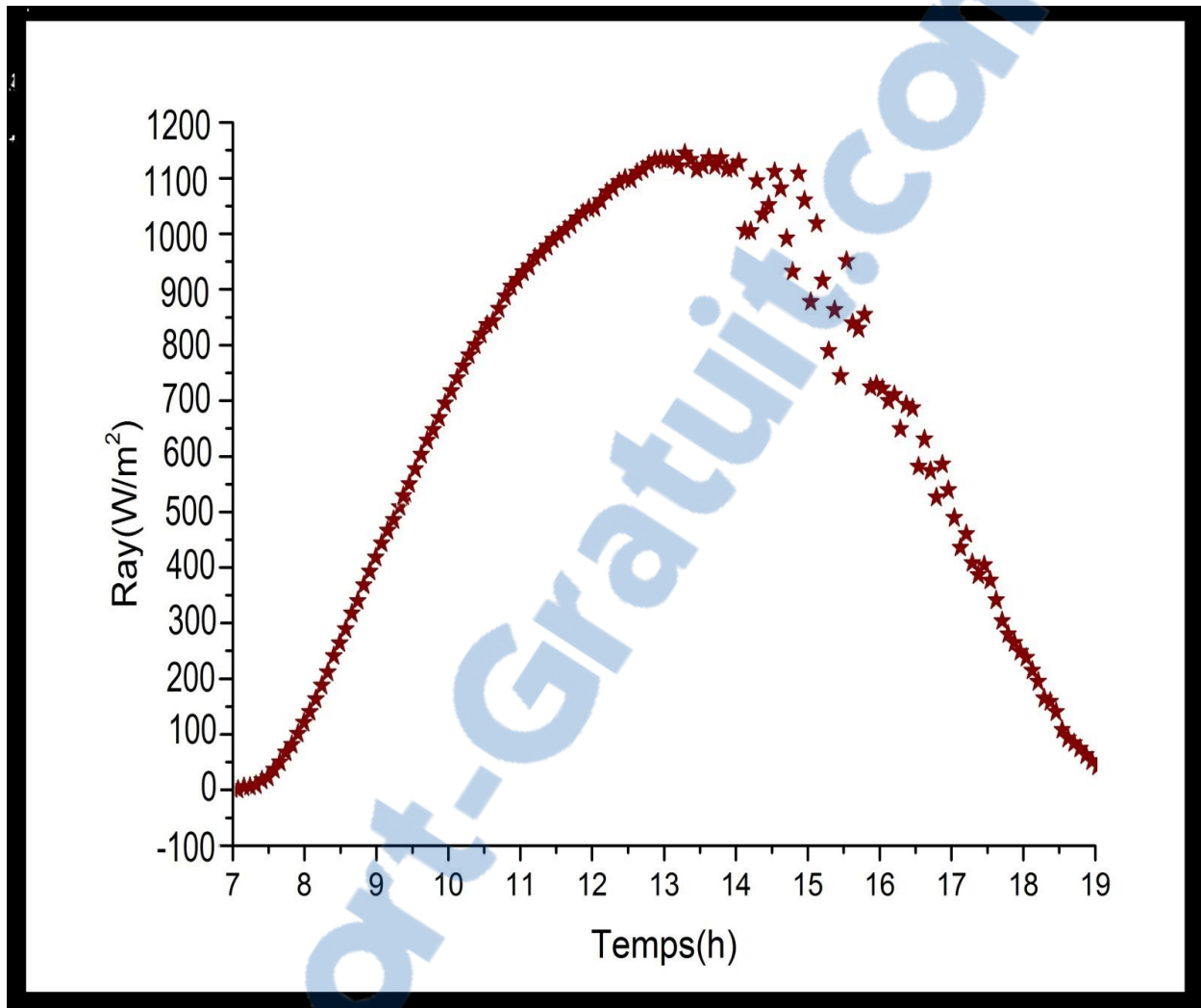


Figure V.11 Evolution du rayonnement solaire global incliné pour la journée de 13/03/2017

La figure V.11 représente la variation du rayonnement solaire global incident pour la journée de 13/03/2017, le ciel est un peu perturbé par le mouvement du vent (de 13h30 – 17h30).

La valeur maximale du rayonnement solaire globale incident enregistrée aux environ de 13h30 est égale à 1160  $W/m^2$ .

### V.4.2.2 Variation de température du 13/03/2017

Le débit d'air=0.022 m<sup>3</sup>/s et la vitesse de l'air à l'entrée du capteur= 1.31 m/s. la vitesse de l'air à la sortie du capteur = 1.98 m/s, (le régulateur de la vitesse de ventilateur est en position 1).

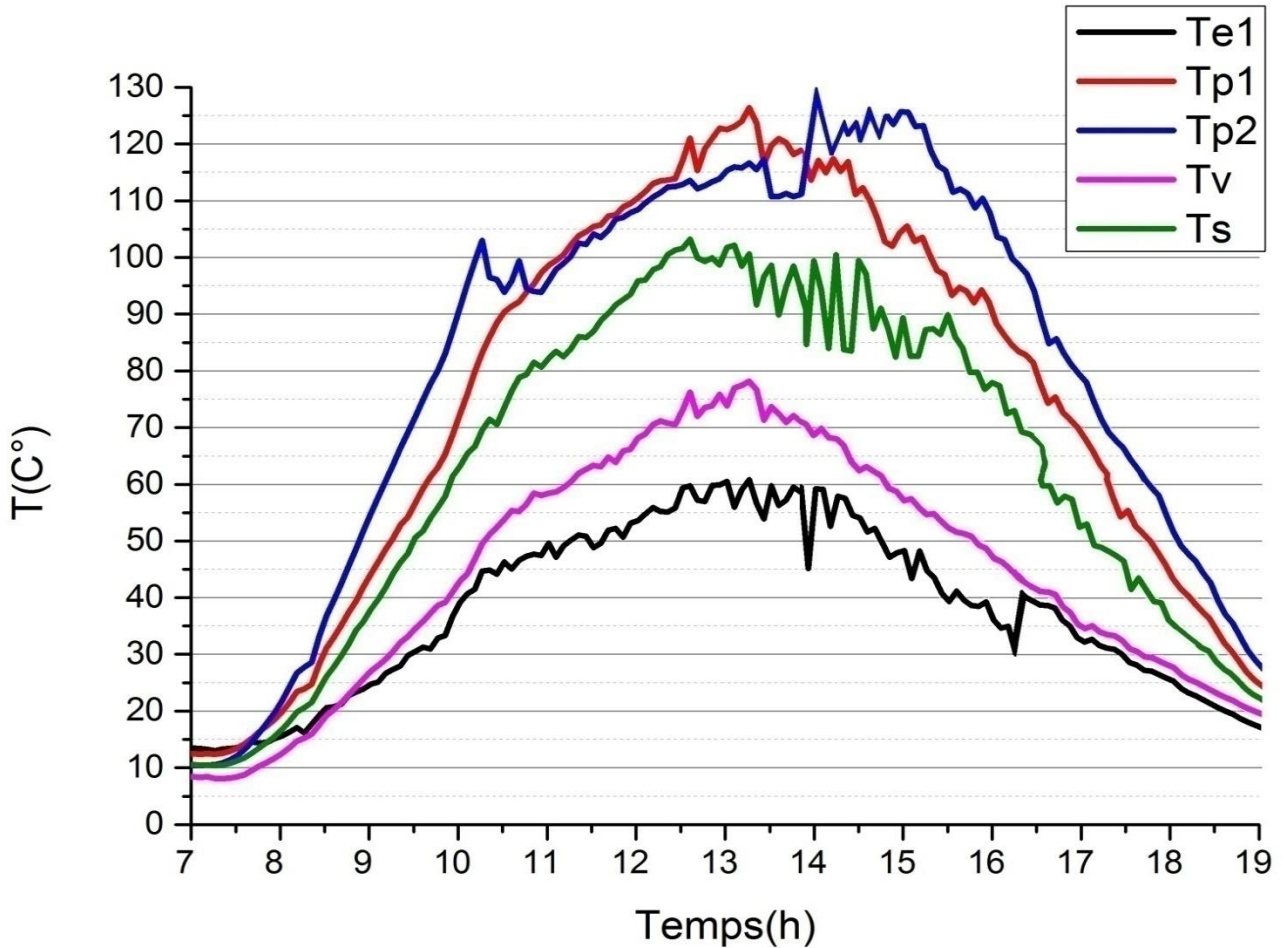


Figure V.12 Evolution des températures (13/03/2017)

La figure V.12 représente l'évolution de température en fonction du temps. Il est remarqué sur l'ensemble des courbes des petites variations sinusoïdales, ceci est du à la perturbation du climat du jour. Les températures atteignent leurs valeurs maximales entre 13h00 et 15h00.

### V.4.2.3 Variation du rayonnement incident du 14/03/2017

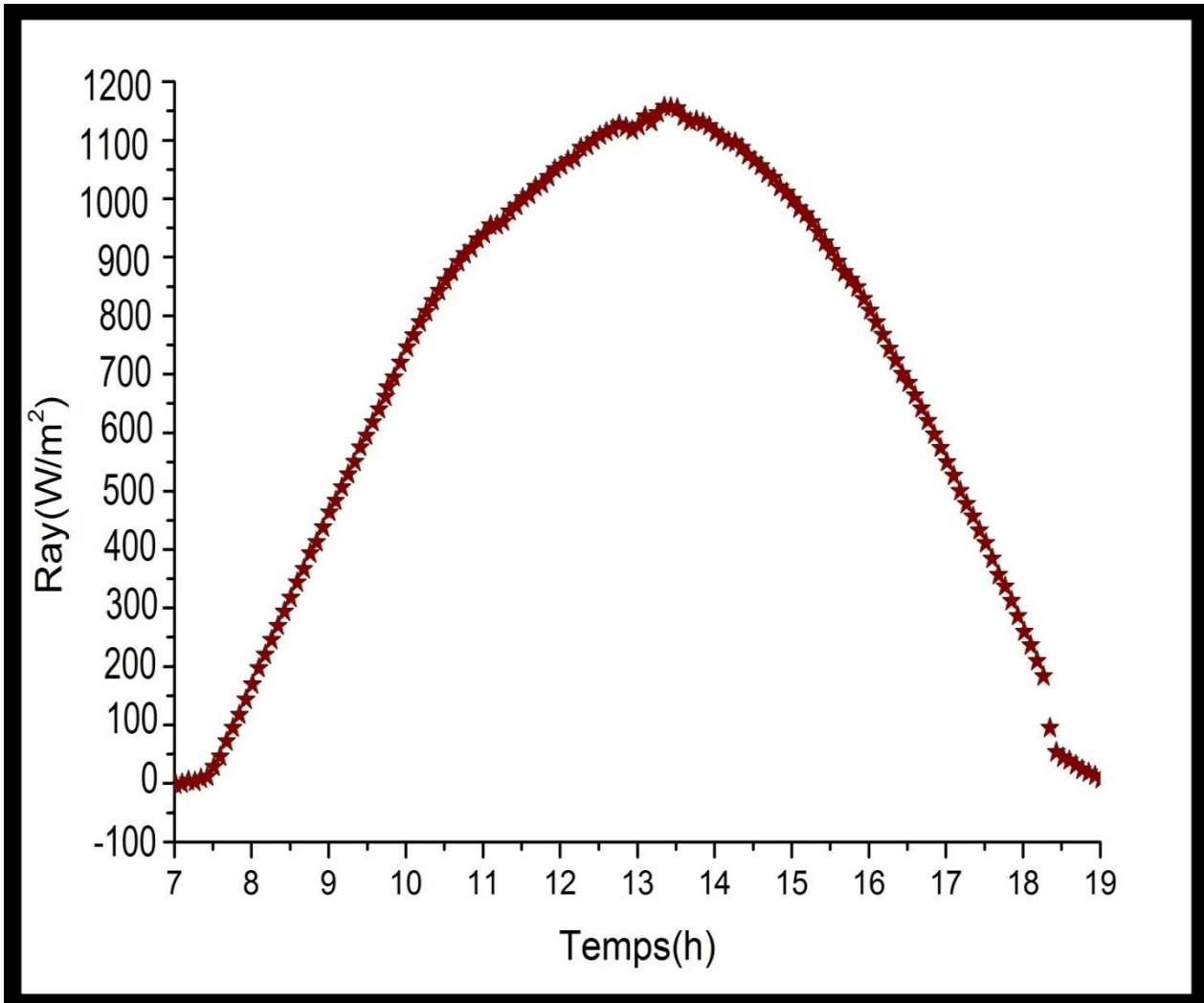


Figure V.13 Evolution du rayonnement solaire global incliné pour la journée de 14/03/2017

La figure V.13 représente la variation du rayonnement solaire global incident pour la journée de 14/03/2017, Un jour type du mois caractérisé par un ciel clair, un vent faible.

La valeur maximale du rayonnement solaire globale incident enregistrée aux environ de 13h10 est égale à  $1048 W/m^2$ .

#### V.4.2.4 Variation de température du 14/03/2017

Le débit d'air=0.032 m<sup>3</sup>/s et la vitesse de l'air à l'entrée du capteur=1.89m/s. la vitesse de l'air à la sortie du capteur = 2.85 m/s, (le régulateur de la vitesse de ventilateur est en position 3).

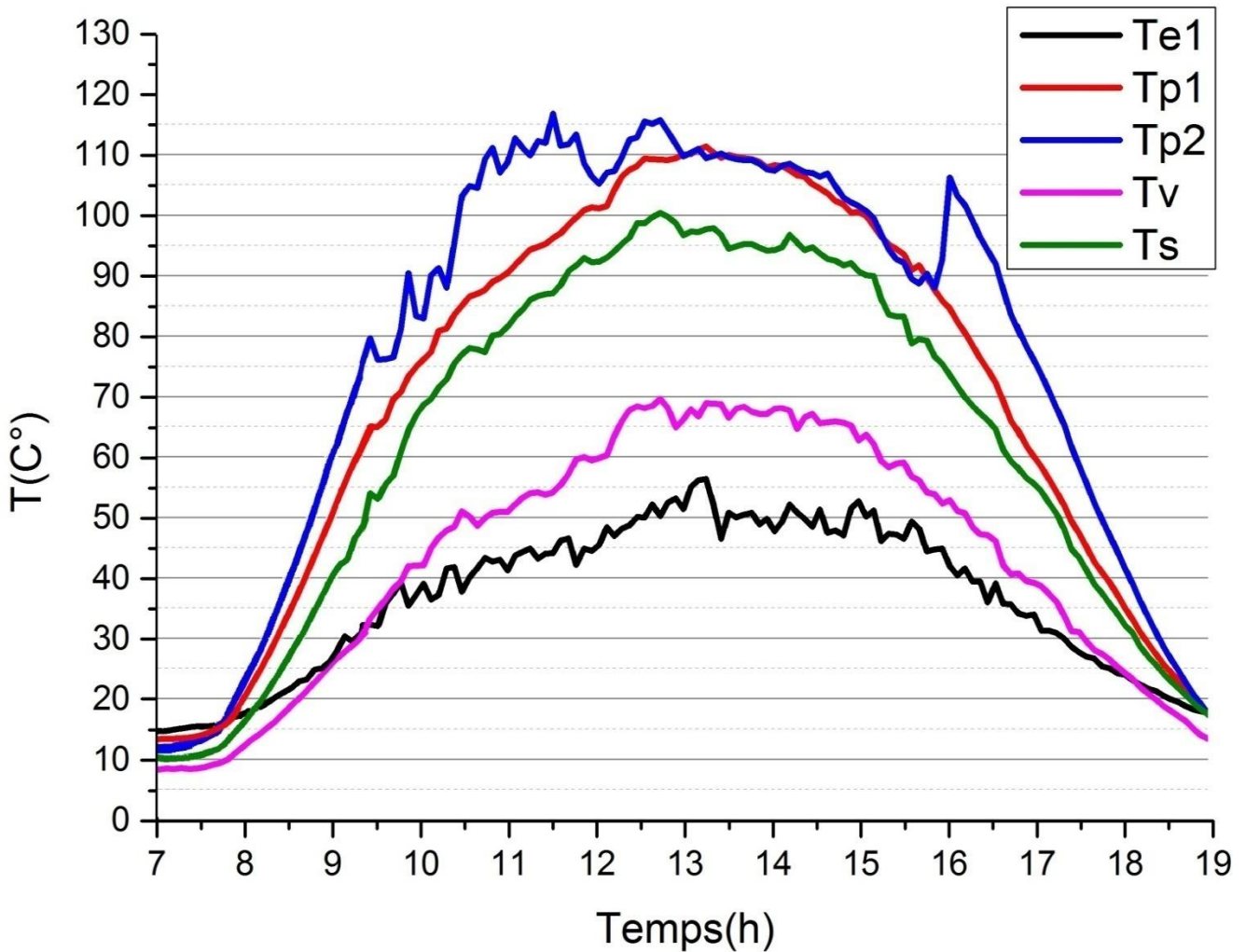


Figure V.14 Evolution des températures (14/03/2017)

Nous constatons sur la figure précédente que l'évolution des températures de l'absorbeur, de la couverture et de l'air à l'entrée et à la sortie, prennent presque la même allure (montent et descendent ensemble). Les trois atteignent leurs valeurs maximales entre 11h00 et 13h00.



V.4.2.5 Variation du rayonnement incident du 15/03/2017

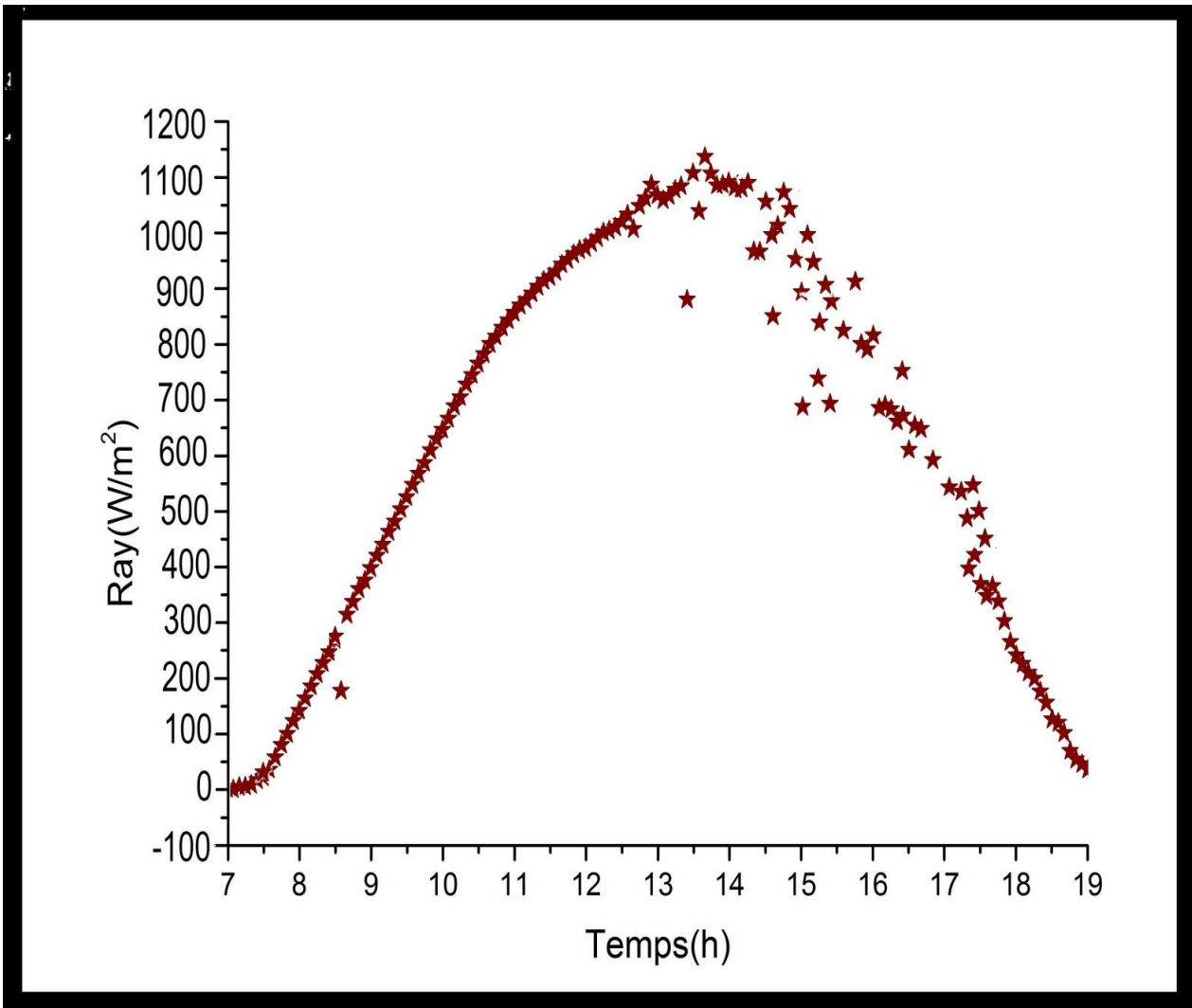


Figure V.15 Evolution du rayonnement solaire global incliné pour la journée de 15/03/2017

La figure V.15 représente la variation du rayonnement solaire global incident pour la journée de 15/03/2017, le ciel est un peu perturbé par le mouvement du vent (de 12h30 – 18h00).

La valeur maximale du rayonnement solaire globale incident enregistrée aux environ de 13h30 est égale à  $1040 W/m^2$ .

#### V.4.2.6 Variation de température du 15/03/2017

Le débit d'air= $0.033 \text{ m}^3/\text{s}$  et la vitesse de l'air à l'entrée du capteur= $1.94 \text{ m/s}$ . la vitesse de l'air à la sortie du capteur =  $2.95 \text{ m/s}$ , (le régulateur de la vitesse de ventilateur est en position 5).

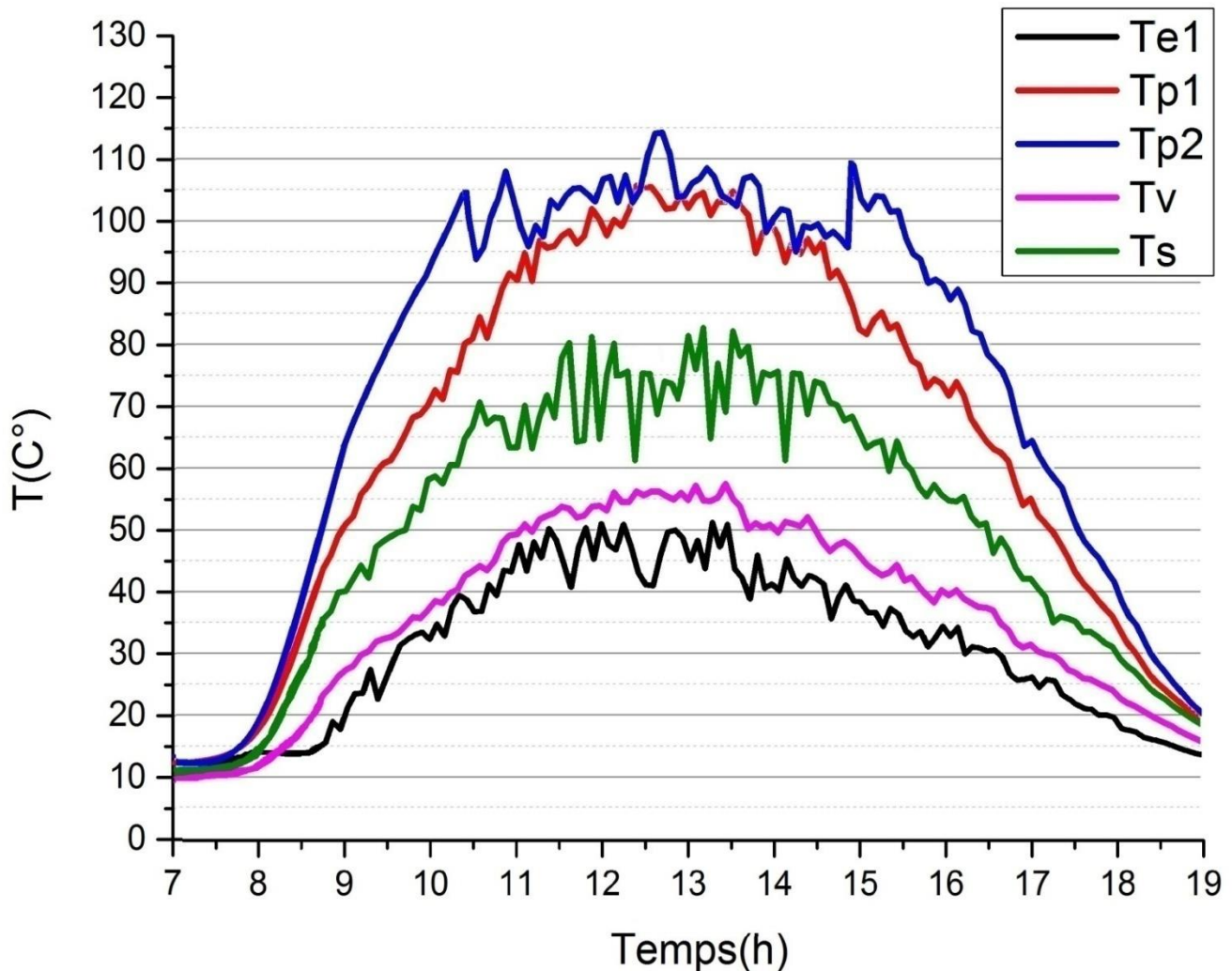


Figure V.16 Evolution des températures (15/03/2017)

La figure V.16 représente l'évolution de température en fonction du temps. Il est remarqué sur l'ensemble des courbes des petites variations sinusoïdales, ceci est du à la perturbation du climat du jour. Les températures atteignent leurs valeurs maximales entre 12h30 et 13h30.



### V.4.2.7 Effet de la vitesse d'écoulement sur la température

L'interprétation des courbes des trois jours sur le même graphe permet de faciliter la comparaison.

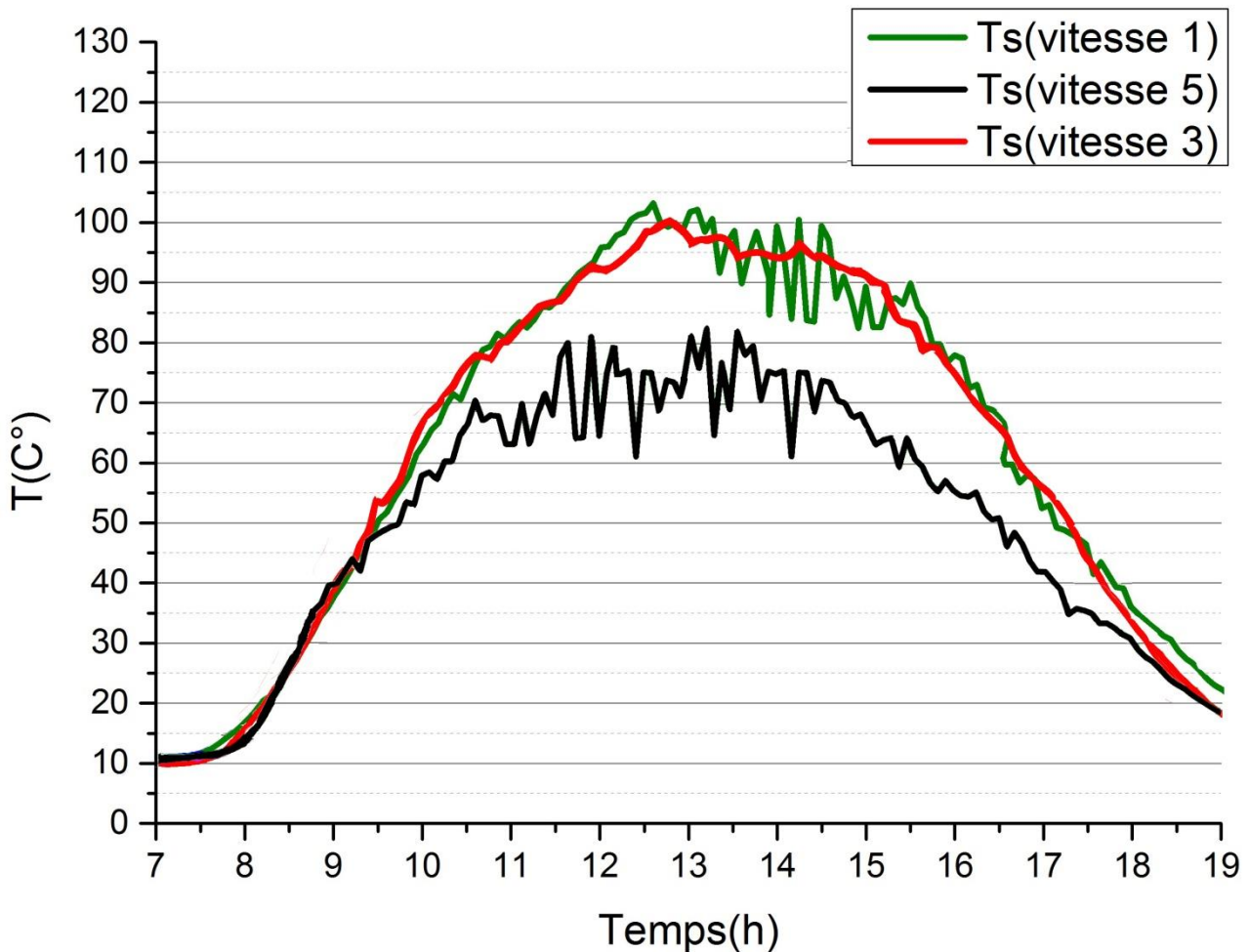


Figure V.17 Evolution des trois températures de sortie pour les trois vitesses du ventilateur

La figure V.17 montre l'effet de l'accroissement de la vitesse d'écoulement sur la température de l'air à la sortie du capteur.

En effet, l'augmentation de la vitesse de l'écoulement de l'air (ventilateur) fait diminuer la température de l'air à la sortie du capteur.

### V.4.3 Configuration N-3

Dans cette configuration les deux veines sont ouvertes. Les expériences sont faites durant trois jours de 16/03/2017 à 18/03/2017.

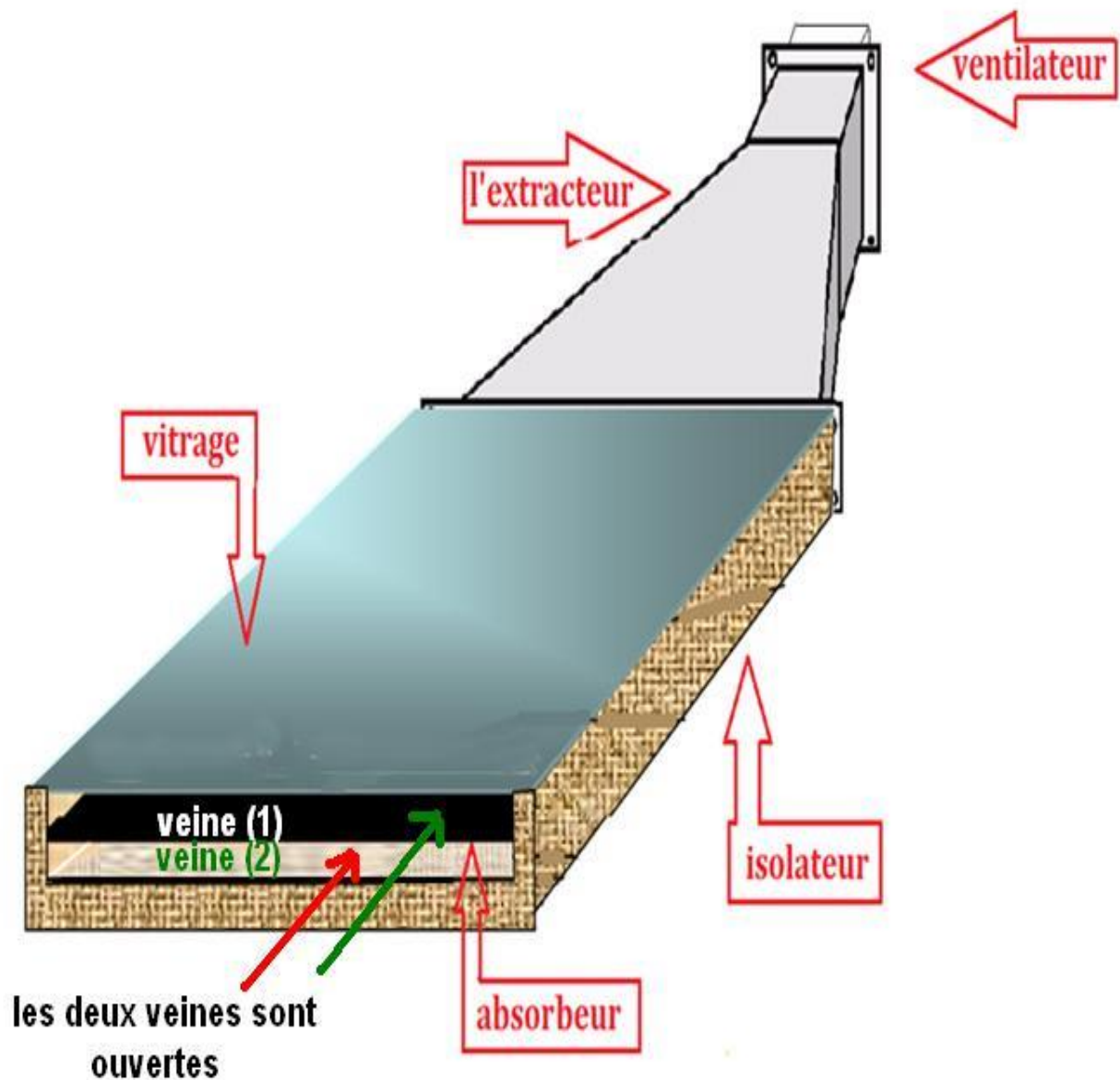


Figure V.18 Schéma des deux veines

V.4.3.1 Variation du rayonnement incident du 16/03/2017

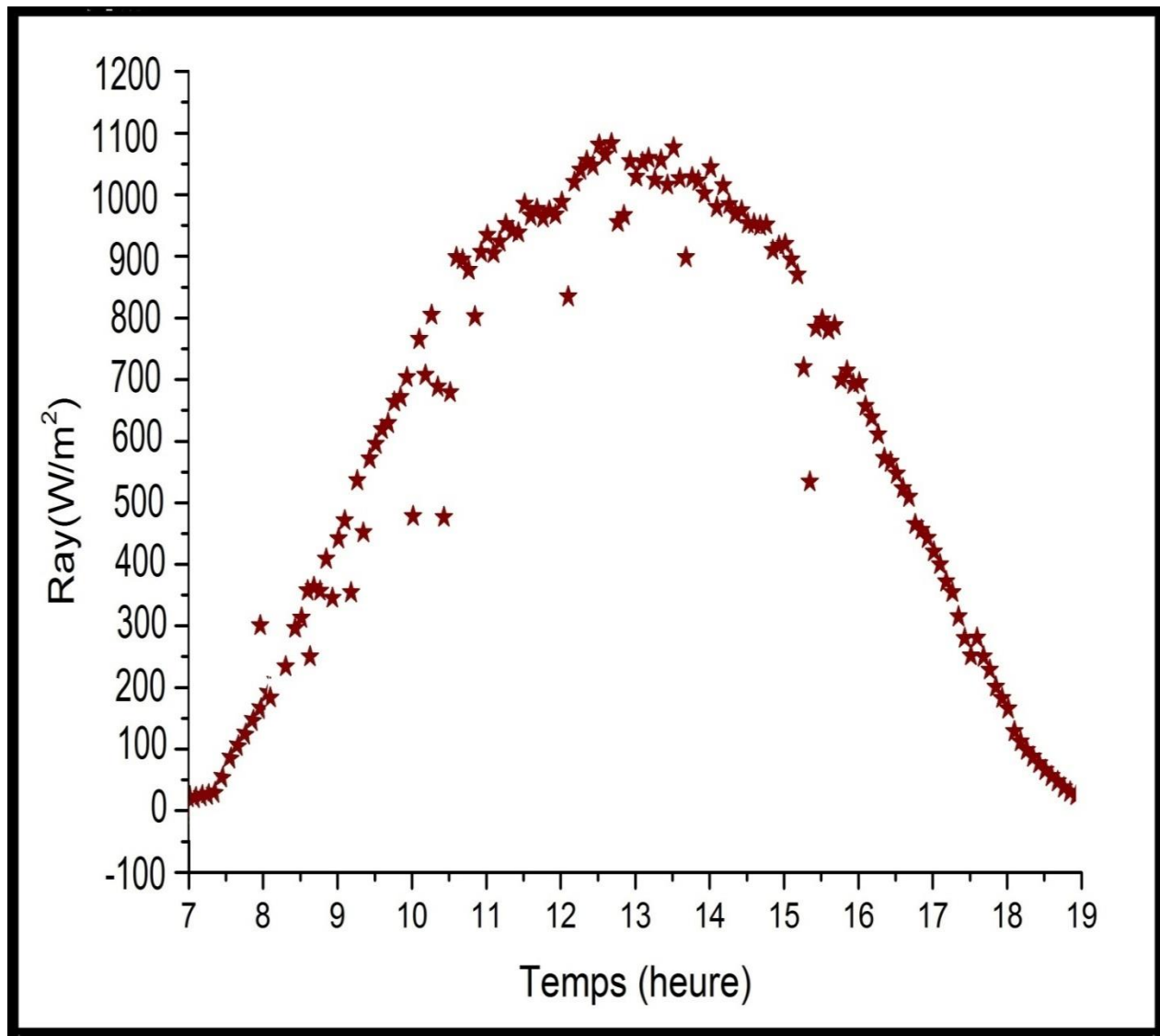


Figure V.19 Evolution du rayonnement solaire global incliné pour la journée de 16/03/2017

La figure V.19 représente la variation du rayonnement solaire global incident pour la journée de 16/03/2017, La courbe de l'éclairement présente une allure avec des fluctuations dues au passage nuageux.

La valeur maximale du rayonnement solaire globale incident enregistrée aux environ de 12h44 est égale à 1075 W/m<sup>2</sup>.

### V.4.3.2 Variation de température du 16/03/2017

Le débit d'air=0.022 m<sup>3</sup>/s et la vitesse de l'air à l'entrée du capteur=1.31m/s pour la veine(1) et 1.31m/s pour la veine(2). La vitesse de l'air a la sortie du capteur = 1.98 m/s, (le régulateur de la vitesse de ventilateur est en position 1).

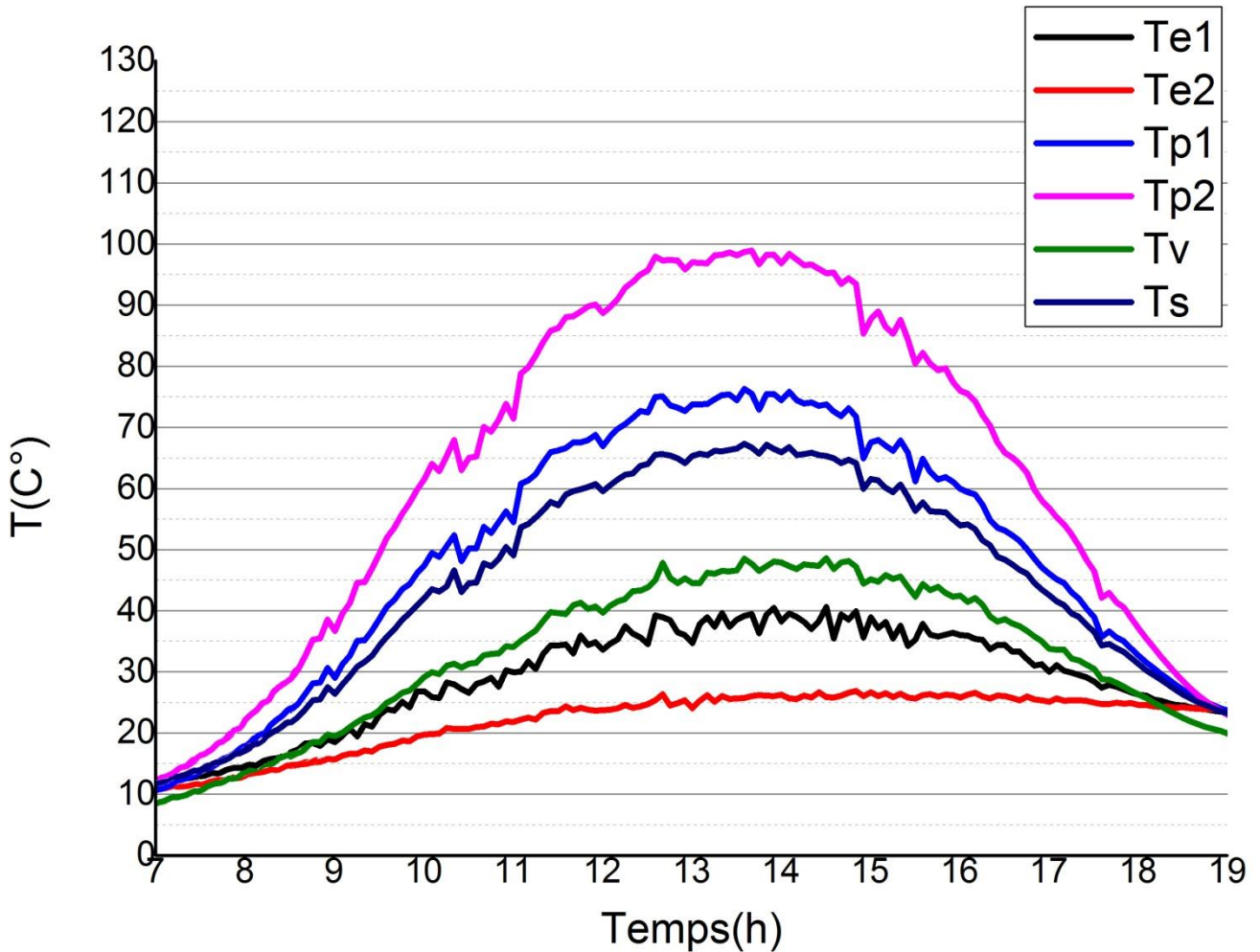


Figure V.20 Evolution des températures (16/03/2017)

Nous constatons sur la figure précédente que l'évolution des températures de l'absorbeur, de la couverture et de l'air à l'entrée et à la sortie, prennent presque la même allure (montent et descendent ensemble). Les trois atteignent leurs valeurs maximales entre 13h30 et 14h30.

V.4.3.3 Variation du rayonnement incident du 17/03/2017

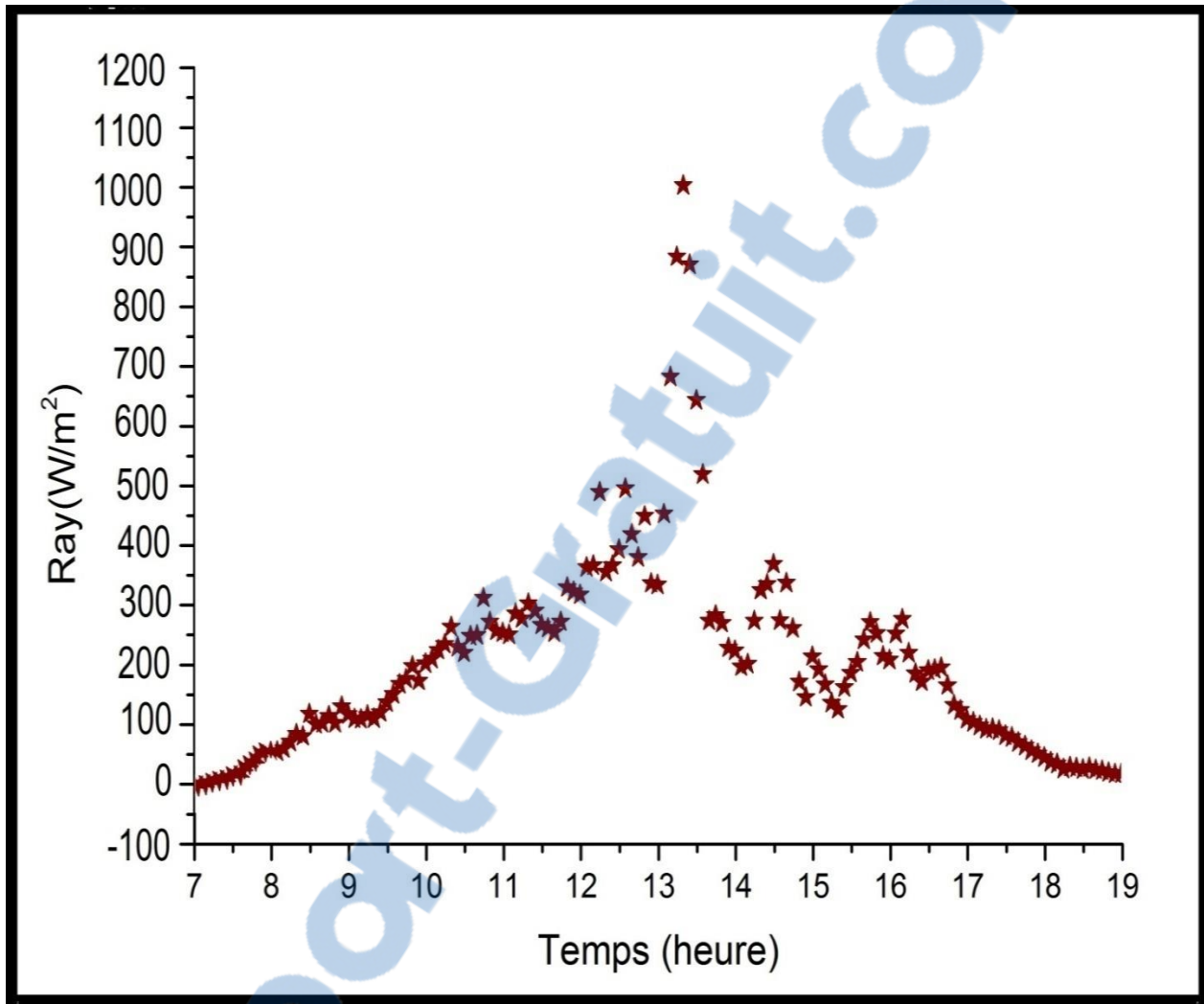


Figure V.21 Evolution du rayonnement solaire global incliné pour la journée de 17/03/2017

La figure V.21 représente la variation du rayonnement solaire global incident pour la journée de 17/03/2017, sur cette dernière courbe quelques irrégularités dues à la perturbation des conditions climatiques du jour, le ciel est très perturbé par le mouvement du vent.

La valeur maximale du rayonnement solaire globale incident enregistrée aux environs de 13h15 est égale à 980 W/m<sup>2</sup>.

#### V.4.3.4 Variation de température du 17/03/2017

Le débit d'air= $0.032 \text{ m}^3/\text{s}$  et la vitesse de l'air à l'entrée du capteur= $1.89 \text{ m/s}$  pour la veine(1) et  $1.89 \text{ m/s}$  pour la veine(2). La vitesse de l'air a la sortie du capteur =  $2.85 \text{ m/s}$ , (le régulateur de la vitesse de ventilateur est en position 3).

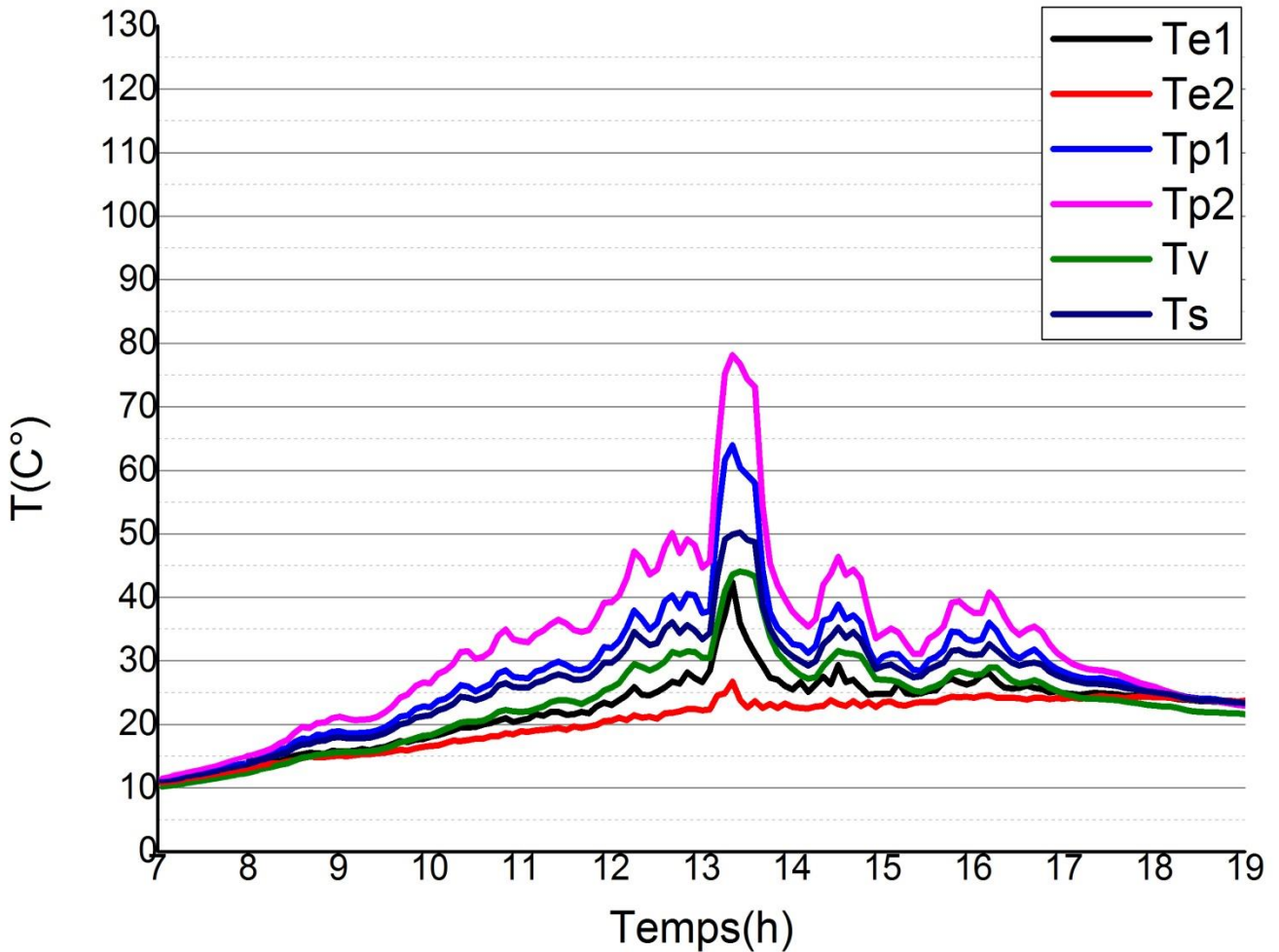


Figure V.22 Evolution des températures (17/03/2017)

La figure V.22 représente l'évolution de température en fonction du temps. La courbe suit une évolution logique en fonction de l'évolution du flux solaire. Il est remarqué aussi sur l'ensemble des courbes des petites variations sinusoïdales, ceci est du à la perturbation du climat du jour. Les températures atteignent leurs valeurs maximales entre 13h00 et 14h00.



V.4.3.5 Variation du rayonnement incident du 18/03/2017

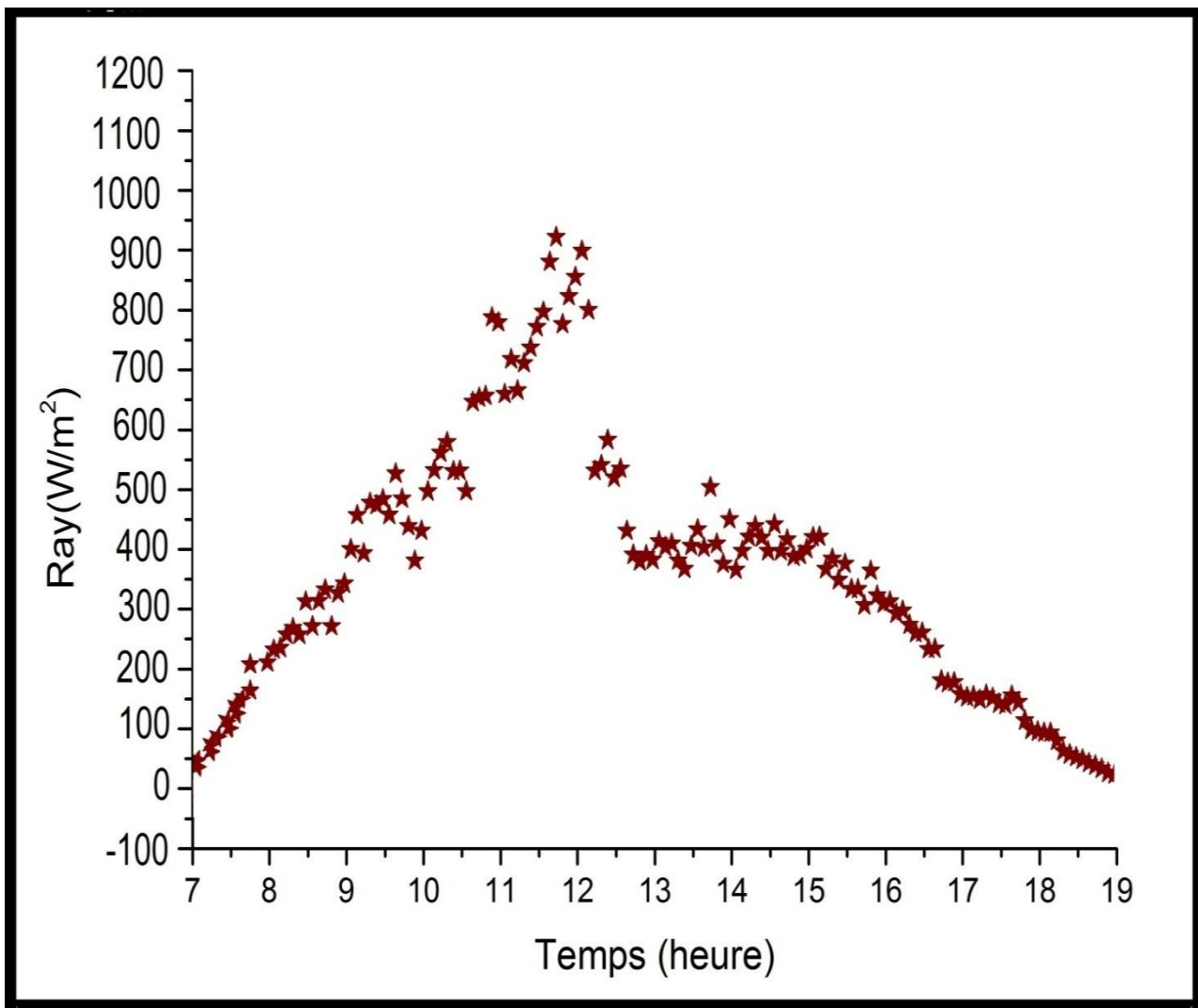


Figure V.23 Evolution du rayonnement solaire global incliné pour la journée de 18/03/2017

La figure V.23 représente la variation du rayonnement solaire global incident pour la journée de 18/03/2017, Nous constatons la présence de fluctuations pendant la journée, résultant probablement de la présence des nuages, le ciel est très perturbé par le mouvement du vent.

La valeur maximale du rayonnement solaire globale incident enregistrée aux environ de 11h40 est égale à 925 W/m<sup>2</sup>.



### V.4.3.6 Variation de température du 18/03/2017

Le débit d'air=0.033 m<sup>3</sup>/s et la vitesse de l'air à l'entrée du capteur=1.94m/s pour la veine(1) et 1.94m/s pour la veine(2). La vitesse de l'air a la sortie du capteur = 2.95 m/s, (le régulateur de la vitesse de ventilateur est en position 5).

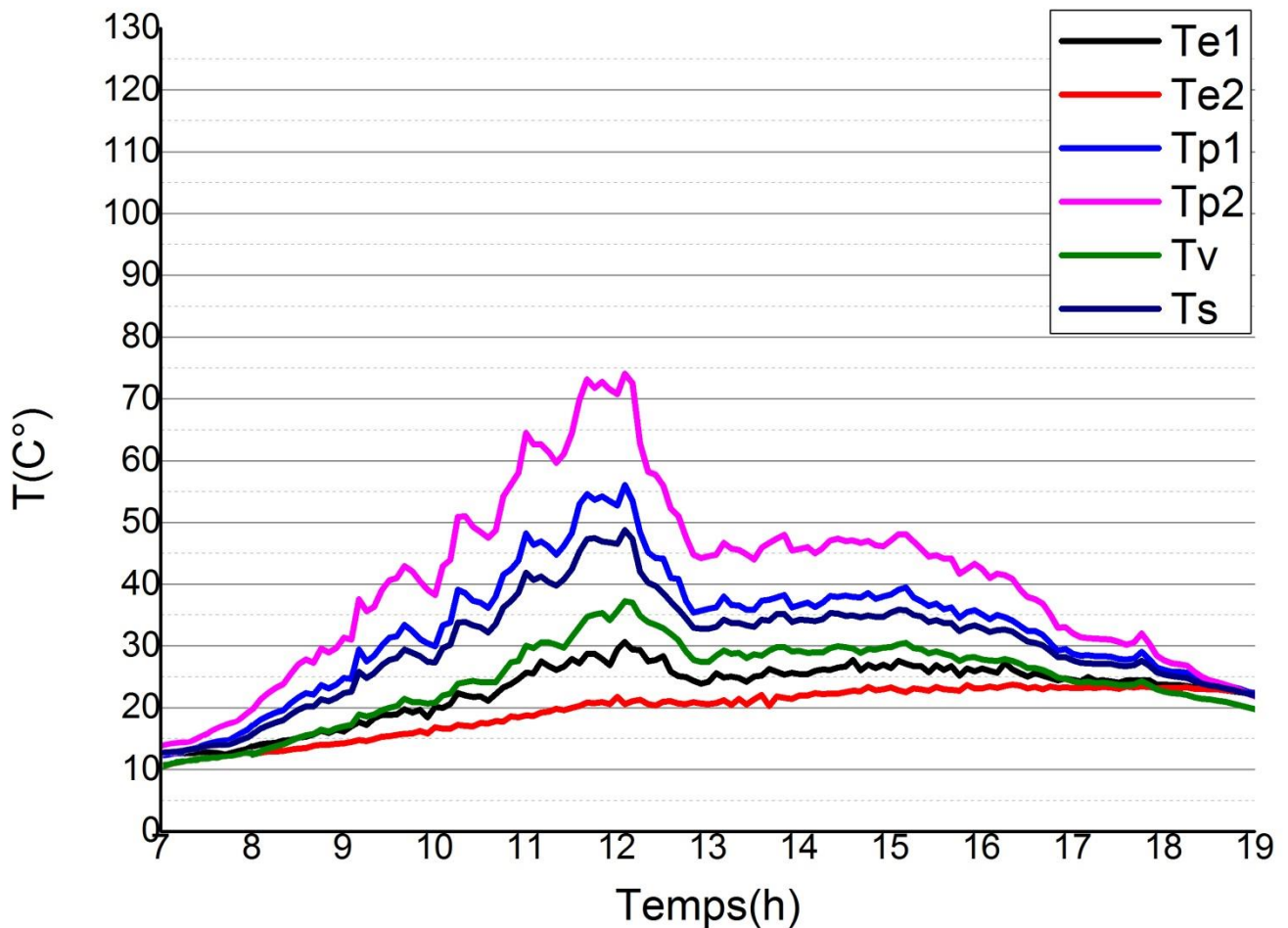


Figure V.24 Evolution des températures (18/03/2017)

La courbe des températures suit une évolution logique en fonction de l'évolution du flux solaire. Les cinq températures atteignent leurs valeurs maximales entre 11h30 et 12h30.

## **V.5 Interprétations**

Dans le cadre de ce travail, nous avons entrepris une étude expérimentale d'un capteur solaire plan à air. Parmi ces paramètres, on cite : la température de sortie du fluide caloporteur (air), la température de l'absorbeur et la température de vitrage pour des débits volumiques différents : 0.022 m<sup>3</sup>/s, 0.032 m<sup>3</sup>/s, 0.033 m<sup>3</sup>/s. en fonction de la vitesse des trois positions du ventilateur.

L'observation et l'analyse des différentes figures nous permettent de tirer les remarques suivantes :

Les résultats obtenus de l'éclairement par le pyranomètre ont montré des valeurs minimales au début et en fin de journée et des valeurs maximales entre 12h00 et 14h00, il est à noter que l'écart de température entre l'entrée et la sortie du fluide aux environs du temps midi TSV est important et qui correspond à la valeur maximale de l'éclairement solaire.

En effet nous constatons que les différentes températures de la plaque absorbante des trois configurations sont plus élevées que celles des températures du fluide à la sortie.

L'augmentation de la vitesse d'écoulement implique l'augmentation du débit et la diminution de la température de sortie du fluide caloporteur. Ce qui signifie que l'échange thermique convectif entre l'air et l'absorbeur s'améliore. Cela à une conséquence négative sur le rendement.

Nous remarquons aussi que le rendement du capteur dont l'entrée de l'air s'effectue par la veine du bas (absorbeur-isolateur) est plus élevé que celui du capteur dont l'entrée de l'air s'effectue par la veine du haut (vitre-absorbeur), Cette élévation est plus remarquable pour la troisième configuration ( $\Delta T$  de la veine(2) est plus élevé que ceux de la veine(1)).C'est la preuve d'une bonne isolation thermique et les pertes vers le bas sont négligeables.

## **V.6 Conclusion**

Une étude expérimentale est réalisée pour la détermination des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air double passe sans recirculation d'air, fonctionnant en convection forcée. Trois configurations ont été étudiées.

Les paramètres considérés durant nos tests expérimentaux sont les suivants: le rayonnement incident, la température à l'entrée du capteur, la température de sortie du fluide caloporteur (air), la température de l'absorbeur, la température du vitrage et le débit d'air.

Cette étude montre que la température de sortie du fluide caloporteur décroît avec l'augmentation du débit et que le rendement du capteur dont l'entrée de l'air s'effectue par le bas (absorbeur-isolateur) est plus élevé que celui du capteur dont l'entrée de l'air s'effectue par le haut (vitre-absorbeur).



*Conclusion Générale*

## **Conclusion générale**

Les énergies renouvelables constituent donc une alternative aux énergies fossiles à plusieurs titres : Elles sont généralement moins perturbatrices de l'environnement, elles n'émettent pas de gaz à effet de serre et ne produisent pas de déchets. Elles sont inépuisables et elles autorisent une production décentralisée adaptée à la fois aux ressources et aux besoins locaux. Enfin elles offrent une importante autonomie énergétique.

Le capteur solaire est l'élément essentiel pour l'exploitation de l'énergie solaire, il capte le rayonnement solaire et le transforme sous forme de chaleur par effet de serre par des matériaux qui ont des grands coefficients d'absorption. Cette chaleur peut être utilisée dans le chauffage de l'eau sanitaire ou pour la climatisation des bâtiments. Il peut également transformer le rayonnement solaire en courant électrique à l'aide de matériaux semi-conducteur appelés cellules solaires. Le rendement des capteurs solaires thermiques et photovoltaïques, ou hybride reste encore faible. Plusieurs facteurs influent sur la performance du capteur; cela dépend de leur type d'exploitation, de l'amélioration du pourcentage de captation du rayonnement solaire.

Dans le cadre de ce travail, nous avons entrepris une étude expérimentale d'un capteur solaire plan à air double passe sans recirculation d'air fonctionnant en convection forcée.

Cette étude a été réalisée au niveau du site Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien (URER-MS) d'Adrar, pendant trois semaines (du 26/02/2017 au 18/03/2017) sous ensoleillement naturel.

L'objectif principal de notre étude est de contribuer à l'optimisation des échanges convectifs dans les veines d'écoulement de l'air, et puis faire une comparaison entre les veines d'air (entre le vitrage et l'absorbeur et entre l'absorbeur et l'isolateur).

Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence des paramètres internes et externes sur le rendement instantané du capteur plan. Il apparaît clairement que le rendement instantané est une fonction proportionnelle de l'irradiation solaire globale qui joue un rôle prépondérant.

En outre, l'augmentation du débit se caractérise par l'accroissement de la vitesse du fluide et donc un écoulement de plus en plus turbulent ce qui favorise le transfert de chaleur par convection entre la plaque absorbante et le fluide de travail.

Il est à remarquer aussi, que le rendement du capteur dont l'entrée de l'air est par le bas (absorbeur-isolateur) est plus élevé que celui du capteur ayant l'entrée de l'air par le haut (vitre-absorbeur). C'est la preuve d'une bonne isolation thermique et les pertes vers le bas sont négligeables.

Notre conception a permis d'obtenir des températures du fluide intéressante à la sortie, favorables pour les exploiter dans le préchauffage et le chauffage des bâtiments, Etant donnée une densité du flux existence d'une manière quasi permanente. En plus nous estimons que le capteur tel qu'il a été réalisé est relativement efficace.

En perspective, nous proposons de poursuivre l'étude, toujours dans le but de développer davantage un capteur au rendement optimal, mais cette fois-ci en jouant sur la géométrie des veines et cela en insérant des ailettes et des chicanes dans les deux passages afin d'augmenter la surface d'échange et d'améliorer le transfert thermique.

## Références bibliographiques

[1] **R. Rashid**, (les belles lettres)

([http://www.astrolabium.be/img/pdf/dossier\\_pe\\_da\\_e\\_nergies.pdf](http://www.astrolabium.be/img/pdf/dossier_pe_da_e_nergies.pdf))

[2] **H. rakotondramiarana<sup>1</sup>, d. morau, l. adelard, j. gatina**, « modélisation du séchage solaire: application au séchage en couche mince des boues solides des stations d'épuration », 12èmes Journées Internationales de Thermique 2005.

[3] **Abderrahim asma** « étude numérique de la convection forcée turbulente dans un capteur solaire a air à double passe», mémoire de master, Université de Tlemcen 2012.

[5] **S. youcef-ali**, “study and optimization of the thermal performances of the offset rectangular plate fin absorber plates”, with various glazing, renewable energy, 30 (2005), pp. 271–280. Université de Valenciennes France.

[6] **N. moumni, s. youcef-ali , a. moumni, j.y. desmons**, « energy analysis of a solar air collector with rows of fins ». Renewable energy, 29 (2004), pp. 2053–2064. Valenciennes France.

[7] **K. sopian, supranto, w.r.w. daud, m.y. othman,v.b. yatimc**, thermal performance of the double-pass solar collector with and without porous media, renewable energy 18 (1999) 557-564.

[8] **A. fudholi, m.h. ruslan, m.y. othman, m. yahya, supranto, a. zaharim, and k. sopian**, collector efficiency of the double-pass solar air collectors with fins, selected topics in system science and simulation in engineering. Université Kebangsaan Malaysia.

[9] **A. ahmed-zaïd, a. moulla, m. s. hantala et j.y. desmons** « amélioration des performances des capteurs solaires plans à air: application au séchage de l'oignon jaune et du hareng » rev.energ. ren. vol.4 (2001) 69-78. Valenciennes France.

[10] **Zerrouki a. tedjiza b. et said n.**, (2002), "modélisation des pertes thermiques dans un capteur solaire à air à deux passes" . cder b.p. 62 bouzaréah, alger, algerie. rev. energ. ren. vol. 5, 49-58-49 CDER B.P. 62 Bouzaréah, Alger.



- [11] **ben slama romdhane** « the air solar collectors: comparative study, introduction of baffles to favor the heat transfer » solar energy 81, pp. 139–149, 2007 Université Gabes, Tunisie.
- [12] **O. turgut, n. onur**. “three dimensional numerical and experimental study of forced convection heat transfer on solar collector surface”. international communications in heat and mass transfer, Istanbul, Turquie (2008).
- [13] **F. mokhtari et d. semmar** « etude expérimentale d’un capteur solaire à air » centre de développement des énergies renouvelables, b.p. 62, route de l’observatoire, bouzaréah, alger rev. energ. ren. : Valorisation(1999)243-246. CDER B.P. 62 Bouzaréah, Alger.
- [14] **K. aoues, n. moumni, m. zellouf, a. moumni, 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 énergies renouvelables, vol 12, n°2, p 237-248, Université Mohamed Khider B.P. 145, Biskra, Algérie (2009).
- [15] **Paisarn naphon** « effect of porous media on the performance of the double-pass flat plate solar air heater » international communications in heat and mass transfer pp.140–150, Université Srinakharinwirot Thaïlande (2005).
- [16] **K.m. azharul and m.n.a hawlater**, ‘performance evaluation of a v-groove solar air collector for drying applications’, applied thermal engineering, vol. 26, n°1, pp. 121 – 130, 2006.
- [17] **M.i.bichara** « performance d'un capteur solaire plan a air par une étude comparative de la veine d'ai » Université de Tlemcen 2016
- [18] **T.a.tawfik hussein**, « estimation of hourly global solar radiation in egypt using mathematical model ».
- [19] **J.m chassériau**, « conversion thermique du rayonnement solaire » ; dunod, 1984.
- [20] **R. Bernard; g. menguy; m. schwartz**, « le rayonnement solaire conversion thermique et applications » ; technique et documentation lavoisier , Revue de géographie de Lyon ;1980 .
- [21] **Karroute salima**, « etude théorique et numérique des systèmes couples: distillateur plan-capteur et distillateur hot box-capteur», thèse de magister en physique spécialité: physique énergétique option : photo thermique- université mentouri de constantine, 2009.

- [22] **Benkhelifa Abdelaziz** « modélisation et expérimentation d'un capteur solaire plan à eau influence de l'intensité de l'éclairement solaire et de l'inclinaison du capteur solaire sur le rendement du capteur » université kasdi merbah de ouargla ;2012.
- [23] **B. Mourad.** « Contribution a l'étude, la simulation et l'analyse des pompes à chaleur assistées par l'énergie solaire ». thèse de magister université mentouri de Constantine ; 2008.
- [24] **Sandali messaoud** « étude dynamique et thermique d'un capteur Solaire à air à double passe avec milieu poreux » Université de Tlemcen ; 2014.
- [25] **Meziani fariza** « détermination de gisement solaire par traitement d'images msg ».
- [26] **Mogharbi mohamed, halassa daoud** « conception et réalisation d'un capteur solaire plan à air ». Université kasdi merbah de ouargla ; 2011.
- [28] **Berner, c., durst, f., mceligot, d.m.,** "flow around baffles", trans. asme j. heat transfer 106. (1984).
- [29] **Saadi souad** « effet des parametres operationnels sur les performances d'un capteur solaire plan » universite mentouri de constantine ; 2010.
- [30] **Mr A.Azzi** « Cours des énergies renouvelable » Université de Tlemcen 2016.
- [31] **Amraoui Mohammed Amine** « Etude numérique d'un capteur solaire plan à air Influence de la forme de la rugosité ». Université de Tlemcen 2012.
- [32] **Annab Choayb** « Etude thermique d'un capteur Solaire à double passe avec milieu poreux ». Université de Tlemcen 2013.
- [33] **Aghilas BRAHIMI** «Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau ».\_Université de Lorraine, Nancy, France ;2016.





## *Présentation de l'URER.MS*

### *D'Adrar*



L'Unité de Recherche en Energie Renouvelables en milieu saharien (URERMS), C'est une filiale rattachée au centre de Développement des Energie renouvelables (**CDER**). Est une structure de recherche, créée par l'arrêté ministériel N°76 du 22 mai 2004 au sein de l'**EPST CEDER**.

Les activités de recherche scientifique et de développement technologie menées a l'URER.MS s'inscrivent dans le cadre au programme national de recherche en énergie renouvelables, considéré par le pouvoir publics comme prioritaire et mobilisateur.

La vocation essentielle de l'Unité est la recherche scientifique appliquée et le développement technologie. Elle est chargée d'effectuer des travaux scientifiques et technologiques sur la conception et le développement des dispositifs et équipement de conditionnement d'énergie solaire et de biomasse. Procéder a des études relatives a la qualification des sites d'installation des systèmes d'énergie solaire et éolienne, de mesure, de fiabilité et d'endurance des équipements d'énergie solaire et éolienne.

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

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

- la division de recherche de conversion thermique
- la division de recherche de conversion photovoltaïque

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

**L'Héliothermie** a pour mission sur les travaux des recherches mené sur le développement et l'expérimentation des systèmes de conversion de l'énergie solaire en énergie calorifique utilisables dans déférent domaines d'application thermique, mécanique ou électrique adapté aux conditions climatiques particulières des régions sahariennes.

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

Alor cette division est composée de quatre (4) équipes :

### 1. Equipe de chauffage solaire :

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



## 2. Equipe de distillation solaire :

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



## 3. Equipe de séchage solaire :

Cette équipe est chargé d'entreprendre des travaux de développements et de réalisation de séchoirs solaires directs et indirects pour améliorer les conditions de séchage et de conditionnements de plusieurs produite tel que la tomate, le maïs, le henné, le tabac, les plantes condimentaires et médicinales. L'équipe développera des travaux des recherche sur les matériaux de construction, les capteur plant a air, ainsi que les cinétiques de séchage.....



## 4. Equipe de bioconversion :

Cette équipe de recherche est chargée de mener des études et des travaux de recherche sur les gisements de biomasse à l'échelle régionale. Il s'agit, de l'étude de la palmeraie et des variétés de dattes susceptibles d'être engagées dans des programmes de production de bio alcool (déchet de dattes de mauvaise qualité commerciale), des déchets solides municipaux (ordures ménagères au



niveau des décharges publics, boues des stations de traitement des eaux usées) pour la production de biogaz et du gisement micro algal pour la production de bio-hydrogène, restés jusque-là inexploités. La connaissance de ce potentiel formidable permettra de développer des programmes d'exploitation et de valorisation de cette biomasse à des fins énergétiques, avec des retombées environnementales et agronomique.



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

L'organisation de cette division comprend quatre (4) équipes à savoir :

### 1. Equipe de gisement solaire :

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

Elle comprend, entre autres, les travaux suivants :



La création d'une banque de données, la contribution à l'élaboration de l'atlas solaire et éolien de l'Algérie, la modélisation du rayonnement solaire, la qualification des sites.



## 2. Equipe de pompage photovoltaïque :

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



## 3. Equipe de froid photovoltaïque :

Cette équipe est chargée de mener des études pour d'adaptation de système frigorifiques photovoltaïques sur site saharien et de réaliser et tester les équipements de froid, tel que, les conservateurs médicaux destinés a préservé les médicaments.

L'établissement des bilans énergétiques permettra l'optimisation du champ photovoltaïque nécessaire aux fonctionnements d'l'installation.

## 4. Equipe électronique de système :

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









## Résumé

Dans le cadre de ce travail, nous avons entrepris une étude expérimentale d'un capteur solaire plan à air double passe sans recirculation d'air fonctionnant en convection forcée.

Cette étude a été réalisée au niveau du site Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien (URER-MS) d'Adrar, pendant trois semaines (du 26/02/2017 au 18/03/2017) sous ensoleillement naturel.

Cette étude montre que la température de sortie du fluide caloporteur décroît avec l'augmentation du débit et que le rendement du capteur dont l'entrée de l'air s'effectue par le bas (absorbeur-isolateur) est plus élevé que celui du capteur dont l'entrée de l'air s'effectue par le haut (vitre-absorbeur). C'est la preuve d'une bonne isolation thermique et les pertes vers le bas sont négligeables.

Notre conception a permis d'obtenir des températures du fluide intéressante à la sortie, favorables pour les exploiter dans le préchauffage et le chauffage des bâtiments. Nous estimons que le capteur tel qu'il a été réalisé est relativement efficace.

**Mots clés :** convection forcée, capteur solaire plan à air double passe.

## Abstract

As part of this work, we undertook an experimental study of a dual pass airplane solar collector without recirculation of air operating in forced convection.

This study was carried out at the site of the Unit of Research in Renewable Energies in the Saharan Environment (URER-MS) of Adrar, during three weeks (from 26/02/2017 to 18/03/2017) under natural sunlight.

This study shows that the outlet temperature of the heat transfer fluid decreases with the increase of the flow rate and that the efficiency of the sensor whose air intake is from the bottom (absorber-insulator) is higher than that of the sensor whose air intake is made from the top (absorber-glass). This is proof of good thermal insulation and the losses down are negligible.

Our design has made it possible to obtain favorable fluid temperatures at the outlet, favorable for use in preheating and heating of buildings. We believe that the sensor as it is realized is relatively efficient.

**Keywords:** Forced convection, Double pass solar collector.

## ملخص

يهتم هذا العمل بتفسير نتائج دراسة تجريبية طبقت على مستقبل شمسي يحتوي على قناتين للهواء ؛ الاولى بين الزجاج و المعدن و الثانية بين المعدن و العازل ؛ يعمل هذا المستقبل بنظام الحمل الحراري الاجباري .

أجريت هذه الدراسة على مستوى وحدة البحث في الطاقات المتجددة في الوسط الصحراوي التابعة لولاية ادرار و دامت حوالي ثلاث أسابيع.

الهدف من هذه الدراسة هو محاولة تحسين الاداء الحراري لهذا المستقبل و المقارنة بين قناتي الهواء.

لاحظنا خلال هذه الدراسة تأثيرا عكسيا لتزايد سرعة التدفق على درجة حرارة الهواء الخارجة من المستقبل.

كما لاحظنا ايضا فعالية اكثر للقناة الثانية بالنسبة للقناة الاولى وهذا دليل على ان العازل يقوم بدوره كما ينبغي.

**الكلمات الدلالية :** الحمل الحراري الاجباري؛ مستقبل شمسي يحتوي على قناتين للهواء.