

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

Université Saâd Dahlab, Blida-1



Faculté de Technologie

Département des Énergies Renouvelables

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

EN ENERGIES RENOUVELABLES
OPTION: CONVERSION THERMIQUE

Thème :

**Etude comparative d'un capteur solaire thermique à
air et un capteur à air auto-stockage**

par :

Mechkhar Fatiha

Soutenu le 11/07/2023 devant le jury compose de :

Ferradji . F
Khelalfa.K
Lafri Djamel

Docteur
Docteur
Docteur

présidente
examinatrice
promoteur

Remerciements

Je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donnée le courage, la volonté et la patience afin de mener à soit terme le présent travail.

*Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreur, Monsieur **LAFRI Djamel**. Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.*

*Je tiens également à remercier monsieur **DOUMAZ Toufik** pour son aide précieuse dans la réalisation du modèle expérimental.*

*Je remercie aussi la présidente madame **FERRADJI Fatma** et tous les **membres du jury** d'avoir accepté de lire Ce manuscrit et apporter les critiques nécessaires à la mise en forme finale de ce mémoire.*

*Je remercie sincèrement, Monsieur **BOUZAKI Moustafa** le chef de département des énergies renouvelables.*

*Je remercie beaucoup **tous les enseignants** qui m'ont enseigné durant mon parcours académique, mention spéciale aux enseignants de spécialité conversion thermique.*

Enfin, je remercie tous mes amis et mes collègues de promotion de département d'énergie renouvelable qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail
À mes très chers parents, votre courage, vos sacrifices ont
été pour moi le meilleur soutien durant ce long parcours,*

À ma sœur et mes frères

A ma nièce Iline

À toute ma famille

À tous mes enseignants

À tous mes amis et mes collègues

*À Toute la famille du département d'Énergie renouvelable
Je dédie ce modeste travail*

FATIHA

المخلص

تعمل دراسة مجمعات الهواء الشمسية على تحسين أدائها و تشغيلها . تقدم هذه المذكرة دراسة تجريبية لمجمع حراري به ممتص مائل بمادة الألمنيوم ، كما سيتم إجراء مقارنة مع مجمع آخر مزود بتخزين حراري و الذي هو عبارة عن الحجر حصة و ذلك لتحديد الملتقط الحراري الأفضل.

الكلمات المفتاحية : الطاقة الشمسية ، المجمع الهوائي ، تخزين حراري.

Résumé

L'étude des capteurs solaires à air permet d'améliorer leurs performances et leur fonctionnement. Ce mémoire propose une étude expérimentale d'un capteur à air à absorber en aluminium, avec une étude comparative sera également faite avec un autre capteur à air équipé d'un stockage thermique qui est un galets, afin de déterminer le meilleur absorber thermique.

Mots clés : énergie solaire, capteur à air, stockage thermique.

Abstract

The study of solar collectors Improves their performances and operation. This thesis presents an experimental study of thermal collector with aluminum inclined absorber. And comparison will also be made with another collector equipped with thermal storage, which is pebble stone, in order to determine the best thermal absorber.

Keywords: solar energy, air collector, thermal Storage.

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1-I: Caractéristiques principales du soleil | 7 |
| Tableau 2-I: Différents traitements de surface..... | 16 |
| Tableau 2-II: Le coefficient d'absorption α et le coefficient d'émission ε pour les supports les plus utilisés comme absorbeur..... | 17 |
| Tableau 2-III: Transmissivité de divers types de couvertures dans les gammes du visible et de l'infrarouge. | 19 |
| Tableau 2-IV: : Conductivité thermique de quelque matériau. | 22 |
| Tableau 3-I: Dimensions du boîtier..... | 31 |
| Tableau 3-II: Dimension de la vitre. | 34 |
| Tableau 3-III: Les différents matériaux acheté. | 36 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1-I: Structure du soleil | 7 |
| Figure 1-II: mouvement apparent du soleil | 8 |
| Figure 1-III: Définition des coordonnées terrestre d'un lieu donné. | 8 |
| Figure 1-IV: La déclinaison du soleil durant l'année. | 10 |
| Figure 1-V: Les coordonnées locales du soleil. | 10 |
| Figure 2-I: Schéma de principe d'un capteur solaire. [15] | 14 |
| Figure 2-II: Peinture noire sur absorbeur. [18] | 16 |
| Figure 2-III: Transparence du verre. | 19 |
| Figure 2-IV: Schéma des différentes pertes. [26] | 22 |
| Figure 2-V : Les types génériques principaux d'écoulements. [28] | 24 |
| Figure 2-VI: Capteurs à absorbeur perméable. [29] | 25 |
| Figure 2-VII: Différents type d'absorbeur. [30] | 25 |
| Figure 2-VIII: Chauffages est climatisation des habitations. [32] | 27 |
| Figure 2-IX: Séchage solaire. [33] | 27 |
| Figure 3-I: Le boîtier en bois rouge..... | 30 |
| Figure 3-II: L'isolation. | 31 |
| Figure 3-III: La plaque d'aluminium utilisé. | 32 |
| Figure 3-IV: La plaque d'aluminium a été peintes avec une couleur noire. | 33 |
| Figure 3-V: Plaque transparente en verre. | 34 |
| Figure 3-VI: Le ventilateur. | 35 |
| Figure 3-VII: Photo représente le capteur solaire réalisé fini. | 36 |
| Figure 3-VIII: Thermocouple (chromel alumel) de type K. | 37 |
| Figure 3-IX:Un pyranomètre. | 38 |
| Figure 3-X: Photo de l'acquisition. | 39 |
| Figure 4-I: La variation de l'éclairement globale. | 42 |
| Figure 4-II: Les variations des températures dans le capteur à air classique. | 45 |
| Figure 4-III: Les variations des températures dans le capteur à air auto-stockeur. | 45 |
| Figure 4-IV: Les variations des températures au niveau de capteur simple. | 46 |
| Figure 4-V: Les variations des températures au niveau de capteur auto- stockeur. | 46 |
| Figure 4-VI: Les profils de température au niveau la plaque d'aluminium et des pierr. | 46 |
| Figure 4-VII: Les profils de température de sortie au niveau de chaque capteur. | 47 |
| Figure 4-VIII: La variation de Δt de chaque capteur à air. | 47 |
| Figure 4-IX: La variation de l'éclairement globale. | 48 |
| Figure 4-X: Les variations des températures dans le capteur à air classique. | 49 |
| Figure 4-XI: Les variations des températures dans le capteur à air auto-stockeur. | 50 |

| | |
|---|----|
| Figure 4-XII: Les variations des températures au niveau de capteur simple. | 50 |
| Figure 4-XIII) : Les variations des températures au niveau de capteur auto- stockeur... | 51 |
| Figure 4-XIV: Les profils de température de au niveau la plaque d'aluminium et des pierres..... | 51 |
| Figure 4-XV : Les profils de température de sortie au niveau de chaque capteur. | 52 |
| Figure 4-XVI: La variation de Δt de chaque capteur à air..... | 52 |

Nomenclature :

φ : La latitude du lieu

δ : La déclinaison du soleil

ω : L'angle horaire

h : Altitude m

TSM : Temps Solaire Moyen Heur

TU : Temps Universel Heur

TL : Temps Légal Heur

TSV : Temps solaire vrai heur

TL : Temps légal heur

h : Hauteur du soleil degré

az : Azimut du soleil Degré

Y : Hauteur du plan Degré

B' : Inclinaison du plan Degré

β Inclinaison du capteur

N : Le numéro du jour dans le mois Jour

Tp1 : La Température dans la plaque d'aluminium au niveau de capteur à air .

Tair1 : La Température dans l'air au niveau de capteur à air .

Ts1 : La Température de sortie au niveau de capteur à air .

Te 1 : La Température d'entrée au niveau de capteur à air .

Tamb1 : La Température ambiante au niveau de capteur à air

$\Delta T1$: La différence entre la température de sortie l'entrée (Ts- Te) au niveau de capteur à air

Tp2 : La Température dans les pierre au niveau de capteur à air auto-stockeur..

Tair2 : La Température dans l'air niveau au de capteur à air auto-stockeur..

Ts2 : La Température de sortie niveau au de capteur à air auto-stockeur.

Te2 : La Température d'entrée au niveau de capteur à air auto-stockeur.

Tamb2 : La Température ambiante au niveau de capteur à air auto-stockeur.

$\Delta T2$: La différence entre la température de sortie l'entrée (Ts- Te) niveau de capteur à air auto-stockeur

Table des matières :

| | |
|---|----|
| 1 Introduction | 4 |
| 1.1 Le soleil | 4 |
| 1.2 Mouvements du soleil | 5 |
| 1.3 Les coordonnées géographiques d'un site | 6 |
| 1.4 Les coordonnées du soleil par rapport à un observateur | 6 |
| 1.4.1 Le repère équatorial | 6 |
| 1.4.2 Le repère horizontal | 7 |
| 1.5 Orientation d'un plan | 9 |
| 1.6 Angle d'incidence sur un plan (<i>i</i>) | 11 |
| 1.7 Les temps solaires | 11 |
| 1.7.1 Le temps solaire vrai (TSV) | 11 |
| 1.7.2 Le temps solaire moyen (TSM) | 11 |
| 1.7.3 Le temps universel (TU) | 12 |
| 1.7.4 Temps légal (TL) | 12 |
| 1.7.5 Lever et coucher du soleil | 12 |
| 1.7.6 La durée du jour..... | 13 |
| 1.8 Le rayonnement solaire | 14 |
| 1.8.1 Le rayonnement solaire direct | 14 |
| 1.8.2 Le rayonnement solaire diffus : | 14 |
| 1.8.3 Le rayonnement global | 14 |
| 1.9 Conclusion | 15 |
| 2 Introduction | 16 |
| 2.1 Caractéristiques techniques des capteurs solaires à air : | 16 |
| 2.1.1 Principe : | 16 |
| 2.1.2 Caractéristiques techniques des différents composants : | 17 |
| 2.2 Différents types des capteurs solaires plans à air : | 25 |
| 2.2.1 Capteurs à absorbeur plan : | 25 |
| 2.2.2 Capteurs à absorbeur perméable : | 26 |
| 2.2.3 Capteurs à absorbeur à géométrie variable | 27 |
| 2.3 Les avantages et inconvénients des capteurs | 27 |
| 2.4 Performance et exposition : | 27 |
| 2.5 Applications des capteurs solaires à air : | 28 |
| 2.6 Conclusion | 29 |
| 3 Introduction : | 30 |
| 3.1 Réalisation d'un capteur solaire à air : | 30 |
| 3.1.1 Le boîtier : | 30 |
| 3.1.2 L'isolant : | 31 |
| 3.1.3 La plaque d'aluminium: | 32 |
| 3.1.3.1 Traitement de la plaque d'aluminium | 32 |
| 3.1.4 Plaque transparente : | 33 |
| 3.1.5 Ventilateurs : | 35 |
| 3.2 Fabrication du capteur : | 36 |
| 3.3 Estimation du cout du capteur : | 36 |
| 3.4 Instrument de mesure | 37 |
| 3.4.1 Caractéristiques de site Blida : | 37 |
| 3.4.2 Mesure de températures | 37 |
| 3.4.3 Mesure du rayonnement solaire global | 38 |
| 3.4.4 Acquisition de donné : | 38 |
| 3.5 Conclusion : | 39 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| 4 Introduction | 40 |
| 4.1 Cas de convection naturelle | 40 |
| 4.1.1 Analyse des résultats | 40 |
| 4.2 Cas Convection forcée : | 46 |
| 4.2.1 Analyse des résultats : | 46 |
| 4.3 Conclusion : | 52 |

Introduction générale

L'augmentation brutale du prix du pétrole survenue en 1973 a conduit une première fois les Scientifiques et les hommes politiques à s'intéresser à des sources d'énergie renouvelables, au premier rang desquelles l'énergie solaire. D'autre part, l'échauffement climatique causé par l'émission des gaz à effets de serre a conduit beaucoup de pays à s'intéresser à des énergies propres.

Les principales caractéristiques de l'énergie solaire ayant suscité l'intérêt qu'on lui a porté à l'époque étaient sa gratuité, sa disponibilité sur une grande partie du globe terrestre et l'absence de risque d'épuisement connu par les sources d'énergie fossile.

On s'est alors vite aperçu que l'énergie solaire, contrairement à une idée répandue, n'est pas tout à fait gratuite : son utilisation nécessite un investissement de départ souvent plus lourd que pour les sources d'énergie conventionnelles et nombre d'installations solaires sont aujourd'hui à l'arrêt faute d'avoir prévu un budget limité pour la maintenance des équipements.

Toutefois, sans être totalement gratuite, l'énergie solaire présente des coûts de fonctionnement réduits et offre, dans certains cas, une alternative économiquement rentable et environnement acceptable par rapport aux sources d'énergie conventionnelles.

Le développement de l'utilisation de l'énergie solaire sera lié non seulement à ses avantages économiques mais surtout à des considérations liées à la protection de l'environnement.

A présent on s'intéresse à l'utilisation de l'énergie solaire qui est un immense gisement d'énergie naturel et gratuit. Les applications de l'énergie solaires sont très diversifiées. Quelque soit l'application, le principe de captation de l'énergie solaire est toujours utilisé. Il y a deux grandes classes de capteurs solaires : les concentrateurs solaires sont surtout utilisés dans les applications à hautes températures : la production de la vapeurs surchauffée des centrales électriques est un exemple. Par contre, les capteurs plans sont utilisés pour les applications à basses températures : le chauffage, la réfrigération et le séchage, etc. Dans l'utilisation de l'énergie solaire, la faible densité de l'énergie et la fourniture instable de cette dernière est due aux variations des conditions atmosphériques. La plus grande part de recherche est consacrée au développement du chauffe-eau solaire du point de vue rendement thermique en général, mais rares sont les études sur les capteurs solaires utilisant l'air comme fluide caloporteur, car ce dernier a un coefficient de transfert de chaleur par conduction convection entre l'absorbeur et le fluide caloporteur beaucoup plus faible que celui de l'eau.

Le rendement d'un capteur solaire, conçu pour convertir l'énergie solaire en énergie thermique dépend de sa forme, de la technique choisie et de la façon dont on réduit les pertes de chaleur à la surface de celui-ci. Il existe une gamme étendue de capteurs solaires à air avec différentes dispositions de l'absorbeur. Pour notre étude, nous avons choisi un capteur solaire à air avec le passage d'air situé entre l'absorbeur et l'isolant.

Le présent travail inclut chapitres.

- Le premier chapitre dédié à des généralités sur le gisement solaire, avec quelques notions et définitions astronomiques couramment utilisées dans tout domaine relatif au solaire.
- Une étude théorique du capteur solaire et des notions sur ses différents composants ,ses classifications, feront l'objet du deuxième chapitre.
- Le troisième chapitre se concentre sur la partie expérimentale, où nous avons utilisé des instruments de mesure et des techniques de mesure spécifiques.

- Dans le dernier chapitre, nous présentons les résultats expérimentaux sous forme de courbes, puis nous les commentons en détail.

Nous terminons notre travail en proposant une conclusion générale sur l'étude comparative du capteur solaire à air classique et propose que le capteur auto stockage est mieux pour les applications telles que le chauffage des locaux, et le séchage.

I.1.Introduction

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 .

I.2.L'état de l'art

- **Etude et Réalisation d'un Capteur Solaire à Air (1998):[1]**

D. Semmar , S. Betrouni et D. Lafri *

Le présent travail porte sur l'étude et la conception d'un capteur solaire à air destiné à la production d'air chaud. Pour effectuer ce travail, on a adopté une approche théorique qui consiste à simuler ce comportement par un programme informatique utilisant un modèle mathématique où tous les paramètres caractérisant la performance du système sont évalués instantanément durant la période d'ensoleillement. La partie expérimentale consiste à la réalisation du modèle considéré. Enfin une interprétation des résultats obtenus est donnée pour valider le modèle utilisé.

- **Etude Expérimentale d'un Capteur Solaire à Air (1999):[2]**

F. Mokhtari et D. Semmar

Dans cette étude, on présente les résultats des essais effectués sur le capteur solaire à air. En premier lieu, on donne la méthode de réalisation du prototype expérimental en se référant aux modèles standards des capteurs à air, ensuite une campagne de mesures a été menée afin de juger les performances thermiques de ce système. Les paramètres mesurés nous permettront d'appuyer l'analyse théorique, valoriser notre capteur solaire à air, et pour une éventuelle utilisation de notre capteur dans le séchage des produits agro-alimentaires.

- **L'Influence de la Configuration de l'Absorbeur sur les Performances Thermiques d'un Capteur Solaire à Air (2001): [3]**

F. Mokhtari et D. Semmar

Une campagne de mesures a été menée sur chaque capteur, on donne l'évolution des températures de sortie de l'air chaud, et l'évolution du débit d'air à la sortie de chaque capteur et ceci en deux modes de circulation; convection naturelle et convection forcée. Les paramètres mesurés nous permettront d'appuyer l'analyse théorique et de valoriser chacune des différentes conceptions de capteur pour une éventuelle utilisation dans le séchage solaire des produits agro- alimentaires.

- **Simulation d'une association d'un capteur solaire à air et un stock pour une unité de séchage solaire (2008):[4]**

M. Ayadi, I. Zouari et A. Bellagi

Ce travail de recherche est un modèle énergétique d'une unité fonctionnant avec du solaire sans appoint destinée au séchage des plantes aromatiques et médicinales. Nous présentons donc un modèle de transfert de chaleur relatif à deux composants du système (capteur, stock) sans appoint, a fin de tester, sa fiabilité, sa dynamique et sa comptabilité avec le dimensionnement macroscopique réalisé.

- **Etude théorique et expérimentale d'un capteur solaire à air destiné au séchage (2008):[5]**

S. Oudjedi, A. Boubghal, W. Braham Chaouch, T. Chergui et A. Belhamri

l'étude théorique et expérimentale d'un capteur solaire à air à simple passe entre l'absorbeur et la vitre travaillant en convection forcée et destinée au séchage des produits agroalimentaires. La modélisation mathématique de l'insolateur est basée sur l'analyse de Hottel, Whillier et Bliss (méthode globale). La simulation numérique a permis de déterminer les profils de température de l'absorbeur et de l'air à la sortie du capteur. Dans la partie expérimentale, nous avons pu réaliser et tester à l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien (U.R.E.R/M.S) d'Adrar, un capteur solaire à air à simple circulation fonctionnant en convection forcée. Les températures mesurées de l'absorbeur et de l'air à la sortie du capteur ont été utilisées pour le calage de notre code de calcul.

- **Comportement thermique du canal d'un capteur à air horizontal sous l'effet du rayonnement solaire (2014):[6]**

S. Kherrou , A. Bouhdjar , A. Boualit , S. Hanini , K. Kaci and R. Zarrit

- L'objectif de ce travail consiste en l'étude de l'effet de l'intensité du rayonnement solaire incident sur le comportement thermique du canal de ce séchoir. Pour simplifier le travail relativement à une suite de simulation d'un système de régulation, l'air traversant le canal avec un débit correspond à un nombre de Reynolds moyen et à une température constante. Pour cela, un modèle mathématique a été développé en utilisant la méthode des éléments finis pour évaluer le comportement thermique le long du séchoir pendant toute la période d'ensoleillement. Sachant que lorsque le rayonnement incident sur la paroi supérieure du séchoir augmente, provoquant ainsi une élévation très importante de la température de l'air à l'intérieur du séchoir. Ceci peut influencer négativement sur le produit à sécher. Pour la régulation des températures, on peut ajouter à notre séchoir solaire dans un prochain travail des injections, un processus de régulation convient avec l'intensité du rayonnement solaire.

I.3.Le soleil

Le soleil est une étoile naine de forme pseudo-sphérique comparable à une immense boule de gaz très chauds qui se compose de 80% d'hydrogène et de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus [7] .

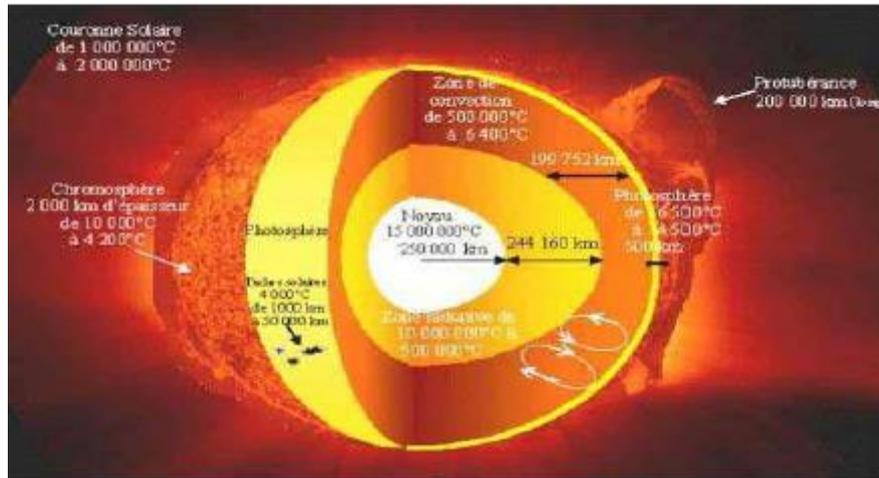


Figure (I-1): Structure du soleil[7]

- Les principales caractéristiques du soleil sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

| Caractéristique | Valeur |
|--------------------------------------|------------------------|
| Masse | $1,989.10^{30}$ kg |
| Masse volumique moyenne | 1410 kg/m ³ |
| Diamètre | $13,92.10^5$ km |
| Distance du centre de la voie lactée | $2,5.10^{17}$ km |
| Vitesse | 217 km/s |
| Température superficielle | 5770 k |
| Puissance rayonnée | $3,83.10^{23}$ kw |

Tableau (I-1) : Caractéristiques principales du soleil [8]

I.4.Mouvements du soleil

La figure I.2 représente le mouvement annuel de la terre autour du soleil dans un plan appelé plan écliptique. Le nom écliptique provient du fait que la lune doit être dans ce plan pour qu'une éclipse se produise [9,10]. Ce mouvement annuel de la terre donne l'impression que le soleil se déplace, au cours de l'année, sur un grand cercle de la sphère céleste appelé cercle écliptique: le cercle écliptique coupe le cercle équatorial en deux points γ et γ' ; le point γ , appelé point vernal, indique la direction dans laquelle un observateur terrestre verra le soleil le jour de l'équinoxe de printemps. L'axe des pôles terrestres P et P' fait avec l'axe des pôles Q et Q' de l'écliptique un angle ϵ dont la valeur est égale à $23^{\circ}27'$. Cette révolution fait varier les durées relatives du jour et de la nuit au rythme des saisons limitées par les deux équinoxes et les deux solstices.

- Equinoxe de printemps correspond au 21 Mars

- Equinoxe d'automne correspond au 23 Septembre
- Solstice d'été correspond au 22 Juin
- Solstice d'hiver correspond au 22 Décembre.

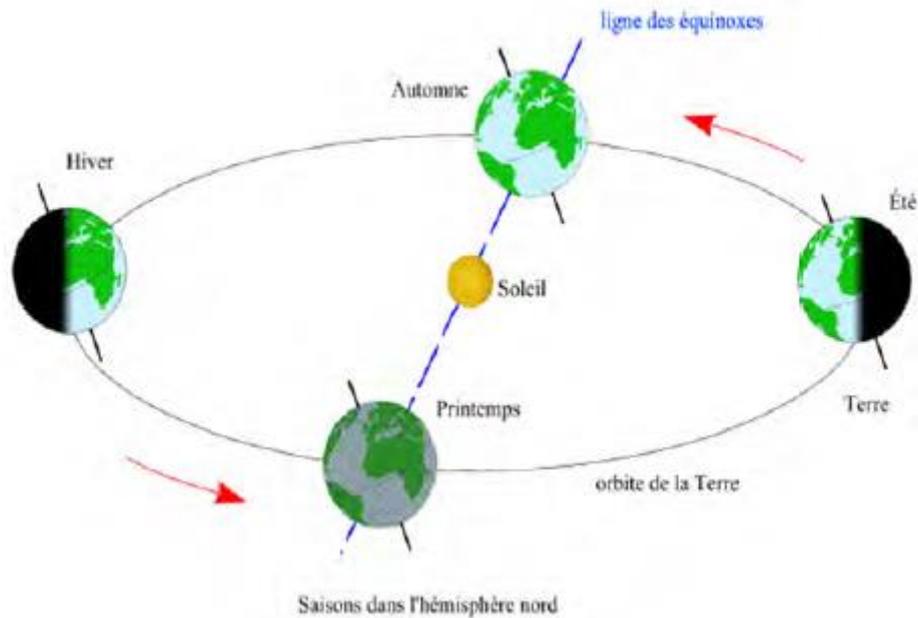


Figure (I.2) : mouvement apparent du soleil[9,10]

I.5. Les coordonnées géographiques d'un site

Tout point de la sphère terrestre peut être repéré par deux coordonnées, appelées coordonnées terrestres, à savoir la latitude φ et la longitude L figure (I.3)

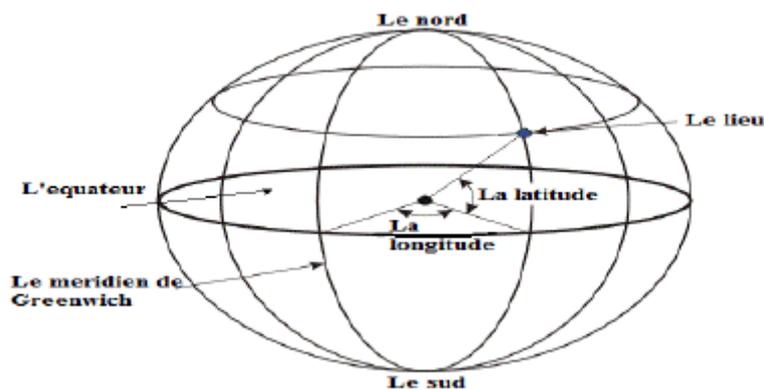


Figure (I.3) : Définition des coordonnées terrestre d'un lieu donné[9,10]

➤ **La latitude du lieu : φ**

C'est l'angle que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu et le plan équatorial. Elle varie de -90° au pôle Sud à $+90^\circ$ au pôle Nord

- $\varphi < 0$ L'hémisphère Sud
- $\varphi > 0$ L'hémisphère Nord
- $\varphi = 0$ Sur le plan de l'équateur

➤ **La longitude du lieu : L**

C'est l'angle entre le plan méridien passant par ce lieu et le plan méridien origine (Greenwich 0°).

I.6. Les coordonnées du soleil par rapport à un observateur

Pour déterminer les coordonnées du soleil par rapport à un observateur situé sur la surface de la terre on définit deux repères, le repère équatorial et le repère horizontal .

I.6.1 Le repère équatorial

Le repère équatorial est un repère qui prend comme origine le centre de la terre et comme plan de référence le plan de l'équateur. Dans ce repère, la position du soleil dans le ciel est déterminée par deux coordonnées, la déclinaison δ et l'angle horaire ω [8].

➤ **La déclinaison du soleil (δ)**

Correspond à l'angle formé par le plan équatorial et la direction terre soleil. Elle varie suivant l'équation de Cooper, [8]

$$\delta = 23.45 \cdot \sin \left((284 + Nj) \cdot \frac{360}{365} \right) \quad (\text{I.1})$$

Avec, Nj : le numéro du jour de l'année (1er janvier=1)

Elle varie de $-23,45^\circ$ au solstice d'hiver à $+23,45^\circ$ au solstice d'été, et elle est nulle aux équinoxes.

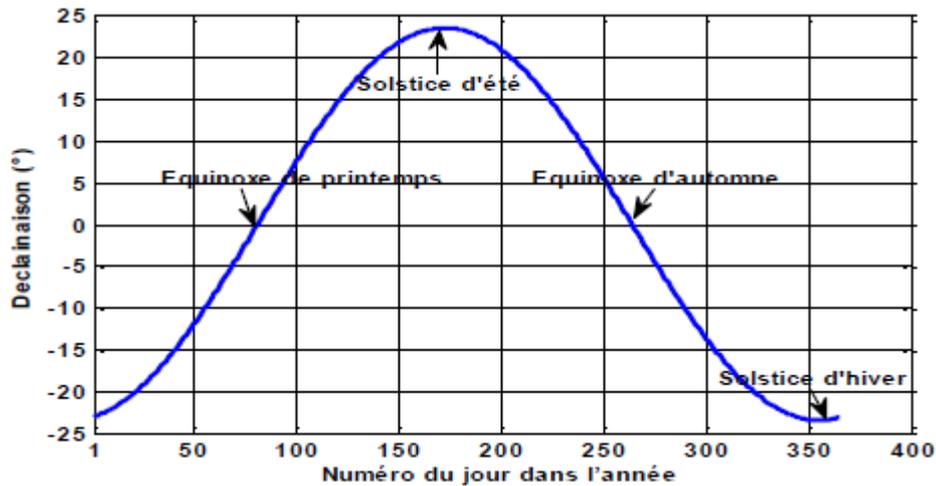


Figure (I-4) : La déclinaison du soleil durant l'année

➤ **L'angle horaire (ω)**

Correspond à l'angle compris entre la projection du soleil sur le plan équatorial et le méridien origine du lieu considéré passant par le sud. Il est donné par la relation suivante:

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

Ou, T , est le temps solaire vrai.

I.6.2 Le repère horizontal

Le repère horizontal est un repère qui prend comme origine le lieu de situation de l'observateur et comme plan de référence le plan de l'horizon astronomique. Dans ce repère. La position d'un astre dans l'espace peut être repérée par ses coordonnées horizontales définies sur la sphère céleste figure (1-5) à savoir la hauteur du soleil h et son azimut a :

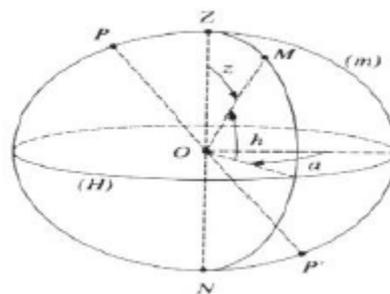


Figure (I-5) : les coordonnées locales du soleil[9,10]

➤ **La hauteur du soleil (h)**

Elle correspond à l'angle formé par le vecteur directionnel du soleil et sa projection sur le plan horizontal, figure (I-6), elle vaut 0° au lever et coucher du soleil et elle prend sa valeur maximale (90°) à midi solaire. Elle est évaluée par la relation suivante [8] :

$$\sin h = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \varphi \cdot \sin \delta \quad (\text{I.3})$$

La hauteur maximale du soleil correspond à $\omega = 0$, obtenu à midi en temps solaire vrai elle est évaluée par la relation suivante :

$$h_{max} = 90 - (\varphi - \delta) \quad (\text{I.4})$$

➤ L'azimut du soleil (a)

Il correspond à l'angle formé par la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et le méridien du lieu. Il est compté positivement vers l'est et négativement vers l'ouest. Il est donné par la relation suivante [8] :

$$\sin a = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos h} \quad (\text{I.5})$$

I.7. Le rayonnement solaire

Les réactions thermonucléaires produites au cœur du soleil génèrent des rayonnements corpusculaire et électromagnétiques se propageant dans toutes les directions du vide inter sidéral avec une vitesse de 3.108m/s et couvrant toutes les longueurs d'ondes depuis les rayons X et gamma jusqu'à R lointain. Ce pendant 99.9% de l'énergie se situe entre 0.2 et 8μm [11].

I.7.1. Le rayonnement solaire direct

Le rayonnement direct est le rayonnement incident sur un plan donné en provenance d'un petit angle solide centré sur le disque solaire, il parvient en ligne droite et par temps clair [12].

I.7.2. Le rayonnement solaire diffus :

Le rayonnement diffus résulte de la diffraction de la lumière par les molécules atmosphériques, et de sa réfraction par le sol, il parvient de toute la voûte céleste [12].

I.7. 3. Le rayonnement global

Le rayonnement global (G) est la somme des rayonnements diffus et direct [12]:

I.8. Conclusion

Dans ce présent chapitre, on a présenté une brève description du soleil et de son énergie, quelques données nécessaires pour notre étude notamment les paramètres de position et de temps solaire, une description du rayonnement solaire.

II.1.Introduction

L'énergie émise par le soleil voyage jusqu'à la Terre sous forme de rayonnement électromagnétique. Ce rayonnement est semblable aux ondes radioélectriques mais il possède une gamme de fréquence différente. L'intérêt du solaire est sensiblement le même sur tout le territoire. L'ensoleillement est plus fort dans le Sud, mais dans le Nord, les besoins en chauffage sont plus importants et plus étalés sur l'année. L'énergie peut être récupérée par des capteurs solaires thermiques ou photovoltaïques.

Le flux solaire peut être directement converti en chaleur par l'intermédiaire de capteurs solaires thermiques. Cette technique est applicable au chauffage des habitations, des piscines, à la production d'eau chaude sanitaire, ou encore au séchage des récoltes (fourrage, céréales, fruits).

II.2. Caractéristiques techniques des capteurs solaires à air :

II.2 .1 Principe :

Le rôle d'un capteur solaire thermique est de transformer le rayonnement solaire qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable, le plus souvent par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau, air, ...). Le schéma de principe d'un capteur solaire plan est donné sur la figure II.1

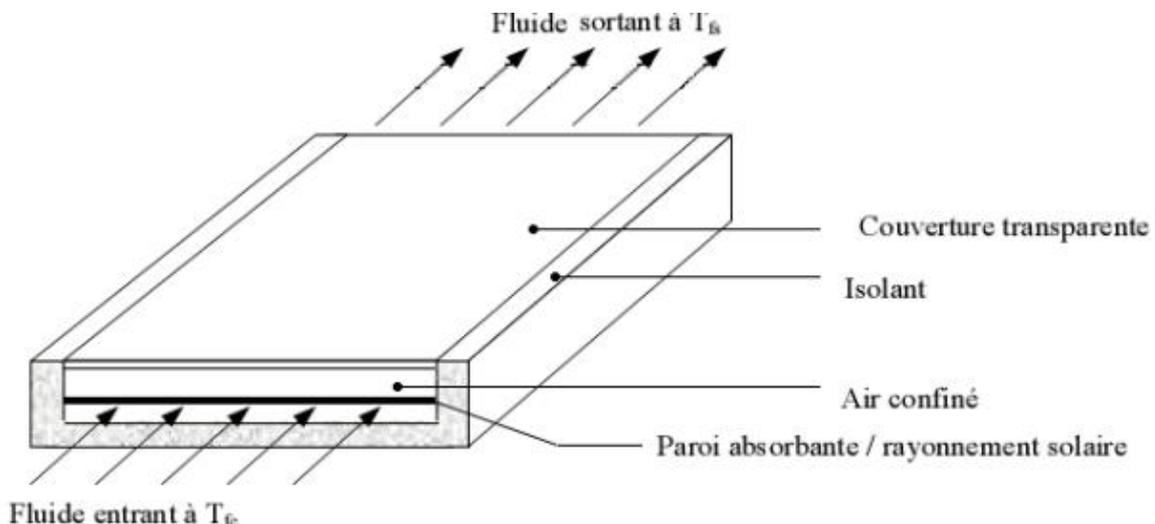


Figure II.1 : Schéma de principe d'un capteur solaire [13]

La paroi absorbante s'échauffe sous l'effet de l'absorption du rayonnement solaire incident. Le fluide qui circule sous cette paroi récupère par convection une partie de cette énergie absorbée et subit une élévation de température $T_{fs} - T_{fe}$ à la traversée du capteur.

II .2.2 Caractéristiques techniques des différents composants :

Le capteur solaire à air se compose essentiellement des éléments suivants :

- une plaque opaque qui absorbe le rayonnement solaire et transmette au fluide caloporteur.
- une isolation thermique arrière est latérale.
- une couverture transparente généralement en verre à simple ou à double qui assure l'effet de serre et évite le refroidissement de l'absorbeur en protégeant de vent.

- **L'absorbeur**

Deux fonctions incombent à l'absorbeur [14] :

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

De plus, il devra être le plus léger possible afin de limiter l'inertie de mise en régime et construit avec un bon matériau conducteur.

Les absorbeurs sont généralement réalisés avec des feuilles minces de métaux présentant une bonne conductibilité et une bonne tenue mécanique. C'est pourquoi, la plupart du temps, les absorbeurs sont réalisés au moyen d'un support en cuivre de 0,2 mm et sont recouverts par un traitement de surface. L'absorbeur en général est disposé de 25 mm à 30 mm d'isolant.

Le rôle de l'absorbeur est de capter au maximum le rayonnement et d'en réémettre le moins possible.

Ces types de surfaces absorbant au maximum et réémettant au minimum ont été nommées surfaces « sélectives ».

La sélectivité de l'absorbeur est très importante; elle est améliorée au moyen de traitements de surface qui ajoutent au support des caractéristiques telles que le rayonnement solaire est très bien absorbé et que le rayonnement infrarouge émis (dû à l'échauffement) est limité.

Deux coefficients déterminent les caractéristiques de ces absorbeurs :

α : coefficient d'absorption (0 à 1, optimum : 1)

ε : coefficient d'émission (0 à 1, optimum : 0)

Un tel traitement de surface peut être obtenu par des procédés électrochimiques ou électro physiques de nombreux progrès ont été réalisés dans ce domaine les plus importants, classés par ordre d'apparition, seront présentés et comparés par rapport à la peinture noire.

- Les différents revêtements possibles :
 - a. la peinture noire: la peinture mate noire du commerce permet d'obtenir un coefficient d'absorption α compris entre 0,9 et 0,95. Mais le degré d'émission ε lui est très élevé (0,85) [17]

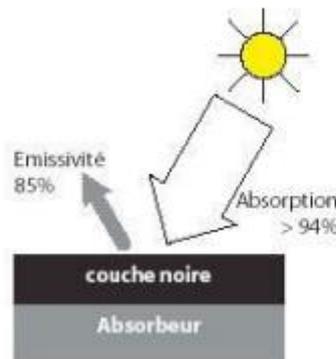


Figure II.2 :peinture noire sur absorbeur [15]

b. Oxyde de chrome: le revêtement en "black chrome" (couleur noire) est composé d'oxyde de chrome déposé sur une sous-couche de nickel, le tout formant une couche extrêmement fine sur un support métallique son coefficient d'absorption α est de 0,95 et son coefficient d'émission ε de 0,12 à 0,18.

c. Traitement sous vide : ce revêtement sélectif a été mis au point en 1995 et est facilement reconnaissable de par sa couleur bleu marine, ce procédé consiste à déposer différents métaux (titane, ...) sur la surface absorbante en présence du vide. Le coefficient d'absorption α obtenu est supérieur à 0,95 et le coefficient d'émission ε , inférieur à 0,05.

| Revêtement | Absorption : α | Emission : ε |
|-----------------|-----------------------|--------------------------|
| Peinture noire | 0,9 – 0,95 | > 0,85 |
| Black chrome | 0,95 | 0,12 à 0,18 |
| Dépôt sous vide | > 0,95 | < 0,05 |

Tableau II.1 : différents traitements de surface [16]

Actuellement le procédé de revêtement sous vide a pris une grande place sur le marché grâce :

- à ses performances.
- à sa faible consommation en énergie lors de la fabrication (1kWh par m² d'absorbeur, c'est à dire moins de 10% de l'énergie nécessaire pour les autres revêtements)
- à son respect au niveau écologique (pas de dégagements de gaz ou solides, pas de pollution de l'eau).

On donne un tableau pour les valeurs de ϵ et α pour les matériaux absorbeur les plus utilisés dans les capteurs solaires plan:

| Support et traitement | α | ϵ |
|---|----------|------------|
| Acier nickel noir sur nickel | 0,95 | 0,07 |
| Acier et chrome noir sur nickel | 0,95 | 0,09 |
| Acier et chrome noir | 0,91 | 0,07 |
| Cuivre et chrome noir | 0,95 | 0,14 |
| Aciergalvaniséetchrome noir | 0,95 | 0,16 |
| Cuivre et cuivre noir | 0,88 | 0,15 |
| Acier et oxydedefer | 0,85 | 0,08 |
| Aluminium et oxyde de manganèse | 0,70 | 0,08 |
| Acier et couche organique sur chrome noir | 0,94 | 0,20 |
| Peinture noir epoxy | 0,95 | 0,18 |
| Peinture blanche epoxy | 0,25 | 0,91 |

Tableau II.2 : Le coefficient d'absorption α et le coefficient d'émission ϵ pour les supports les plus utilisés comme absorbeur [17]

- **La couverture transparente**

La couverture a une fonction de protection de l'absorbeur, mais elle joue aussi un rôle important dans le bilan thermique en réduisant les pertes de chaleur. Habituellement, on utilisera le verre comme couverture transparente [18].

Un tel dispositif représente donc un véritable piège au rayonnement solaire, qui peut être amélioré en munissant le capteur d'une double couverture.

Comme couvertures transparentes utilisées dans la conception des capteurs solaire plans, on distingue :

- ***Le verre**

La propriété physique intéressante du verre est qu'il permet de laisser passer le rayonnement solaire et d'arrêter le rayonnement infrarouge d'un émetteur tel que celui de l'absorbeur.

La chaleur est donc bloquée entre l'absorbeur et la couverture : c'est l'effet de serre. La couverture doit présenter une bonne résistance aux chocs, aux brusques variations de températures ainsi qu'aux températures élevées.

Une appellation « verre solaire » existe et fait l'objet d'exigences toutes particulières :

- le verre doit être trempé pour résister sans risques aux charges thermiques et mécaniques.
- il doit présenter un haut degré de transmission solaire caractérisé par une faible teneur en fer.
- il doit être doté d'une surface structurée permettant de réduire les reflets directs.

La qualité du verre est caractérisée par son rendement optique ou taux de transmission ζ qui dépend de la nature et de l'épaisseur du vitrage ainsi que de l'angle d'incidence i et de la nature du rayonnement (direct ou diffus) (valeur habituelle de ζ : 0,91)

Actuellement, un nouveau verre, dit « antireflet », équipe certains capteurs. Ce verre a un taux de transmission de l'ordre de 96% et son effet se marque davantage pour le placement de capteurs à la verticale.

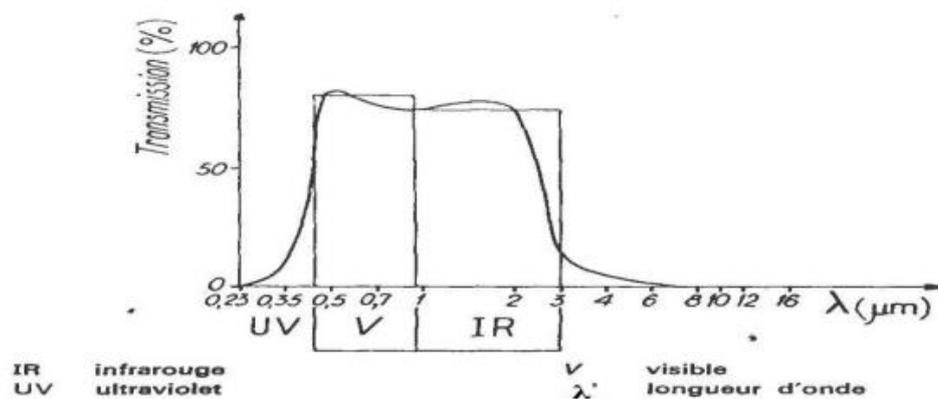


Figure II.3 : Transparence du verre [19].

*** Les polycarbonates :**

sont des dérivés de matières plastique à double et à triple lame très fine, reliées entre elles par une multitude de parois pour former des cavités alvéolaires, ces dernières réduisent le mouvement de l'air incarcéré dans cet espace, et permettent de minimiser les pertes thermiques par convection vers l'avant. C'est ce genre de couvertures qu'on utilise dans notre laboratoire. Leur coefficient de transmission au rayonnement solaire, est de l'ordre de 83% sous une incidence normale à l'état neuf, qui diminue légèrement avec le temps (79% au bout de cinq ans). Il faut noter que l'effet de serre est nettement meilleur avec des couvertures transparentes en verre et en particulier avec des plaques alvéolaires à double paroi. Les polycarbonates, en comparaison avec des couvertures en verre, présentent l'avantage d'avoir une bonne résistance aux chocs thermomécanique.

| Matériaux | Transmissivité | |
|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | $\lambda' = 0,4-2,5\mu\text{m}$ | $\lambda' = 2,5-0,4\mu\text{m}$ |
| Leverre | 0.83-0.91 | 0.00-0.03 |
| Les plastiques en feuilles | 0.76-0.92 | 0.02-0.06 |
| Les plastiques en films | 0.85-0.87 | 0.2-0.26 |

Tableau II.3 : « transmissivité de divers types de couvertures dans les gammes du visible et de l'infrarouge » [20]

- **L'isolant**

Limiter les pertes de transmission vers l'extérieur est primordial pour optimiser les performances du capteur [21]. Nombreux sont les produits isolants qui peuvent convenir pour l'isolation des capteurs, mais il faut veiller à la tenue de la température, car une coupure de circulation du fluide caloporteur peut faire monter la température intérieure du capteur à plus de 150°C. Les isolants généralement utilisés sont la laine de verre et les mousses polyuréthanes. Leur épaisseur varie de 4 à 8 cm.

Un bon isolant doit les qualités suivantes :

une faible conductivité thermique.

une faible densité (pour une faible inertie thermique).

la chaleur massique doit être basse. } une résistance thermique dans l'intervalle des températures de service.

On distingue trois types d'isolants :

- * **isolants minéraux**

- ♣ La laine de verre constituée de fibres de verre très fines, commercialisée sous de nombreuses formes : en plaques, en rouleaux et enrobée dans du plâtre. Sa conductivité varie entre 0,034 Wm⁻¹ K⁻¹ à 0°C et 0,053 Wm⁻¹ K⁻¹ à 200°C.

- ♣ La vermiculite connue aussi sous le nom de mica, dont la conductivité varie de 0,12 à 0,60 Wm⁻¹ K⁻¹ et qui se présente sous forme de granulés très légers.

- *. Isolants d'origine végétale

- ♣ le bois bien sec, sa conductivité varie entre 0,13 et 0,4 Wm⁻¹ K⁻¹, ses qualités isolantes peuvent être améliorées, s'il est utilisé sous forme de fibres agglomérées ($\lambda = 0,05 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$ à $0,10 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

♣ la sciure de bois ($\lambda = 0,11 \text{ Wm}^{-1} \text{ k}^{-1}$), qui a deux inconvénients: son inflammabilité et sa conductibilité qui ont tendance à augmenter avec la chaleur, ce qui la rend inadéquate pour la calorifugation.

***Isolants organiques**

♣ les matières plastiques, sont de mauvaises conductrices de la chaleur. Leurs propriétés isolantes peuvent être améliorées en insufflant un gaz durant l'étape de solidification, ce qui leur donnent la consistance d'une mousse, telle que les mousses phénoliques ($\lambda = 0,44 \text{ Wm}^{-1} \text{ k}^{-1}$) et la mousse de chlorure de polyvinyle ($\lambda = 0,033 \text{ Wm}^{-1} \text{ k}^{-1}$).

♣ La mousse de polyuréthane existe sous deux aspects :

- haute densité ($d = 0,6$) suffisamment rigide pour servir à la fabrication Des caissons de capteurs, tout en constituant un bon isolant ($\lambda = 0,08 \text{ Wm}^{-1} \text{ k}^{-1}$).

- Basse densité ($d = 0,03$) qui est plus fragile, mais meilleure, pour l'isolation ($\lambda = 0,025 \text{ Wm}^{-1} \text{ k}^{-1}$). Il convient de recouvrir ce type de matériau d'un isolant plus résistant à la chaleur si la température dépasse la valeur de 90°C .

♣ Le polystyrène est très léger, fragile, de couleur blanche, utilisé généralement pour l'emballage. Ses propriétés isolantes sont légèrement moins bonnes que le polyuréthane, sa conductibilité thermique est de l'ordre de $0,04 \text{ Wm}^{-1} \text{ k}^{-1}$, mais il est nettement moins cher et il se sublime à partir de 90°C .

| Désignation | $\lambda(\text{w/m}^\circ\text{K})$ | $\rho(\text{Kg/m}^3)$ | Température maximale d'utilisation | Observation |
|-----------------|-------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|
| Laine de verre | 0.034 à 0.053 | 70 | 150 | Sensible à l'humidité |
| Mousse de verre | 0.057 | 123 | 150 | Sensible à l'humidité |
| bois | 0.13 à 0.4 | 123 | 150 | |

| | | | | |
|---------------------|-------|-----|----|----------------|
| Liègeexposé | 0.045 | 100 | | |
| polystyrène | 0.042 | 15 | 85 | Moulécom primé |
| polyuréthane | 0.035 | 35 | 85 | Moulécom primé |

Tableau II.4 : conductivité thermique de quelque matériau [22].

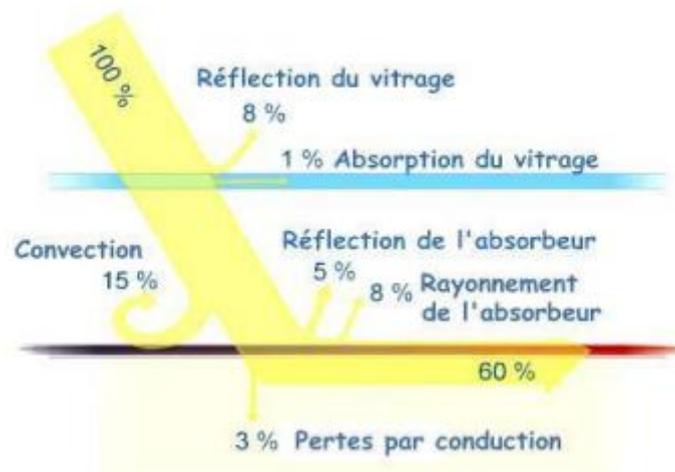


Figure II.4 : Schéma des différentes pertes [23]

La figure présente de manière schématique les différentes pertes générées par les constituants du capteur solaire plan. On remarque aisément que sur une base de 100 % à la surface du vitrage du capteur, seulement 60 % du rayonnement arrivent directement à l'absorbeur.

Quant aux 40 % restants ils ne sont pas complètement perdus mais ils vont jouer un rôle par l'intermédiaire de l'effet de serre.

- **Le fluide caloporteur :**

Le fluide caloporteur est utilisé dans le circuit primaire de capteur solaire a pour rôle de véhiculer le chaleur cédée par l'absorbeur, différents fluides peuvent être utilisée mais doit satisfaire a des certains conditions :

1-Grande capacité calorifique.

2-Faible viscosité.

3-Coefficient de transfert thermique élevé.

4-Haute point de d'ébullition est bas point de congélation.

5-Degré d'agressivité faible devant les matériaux constituant le capteur.

Les fluides caloporteurs plus utilisés sont :

*** l'air**

L'air comme agent de transport de calories a un grand avantage par son abondance et sa gratuité, est par l'absence des problèmes de gel et de corrosion ce qui donne au capteur une grande durée de vie est moins de travaux d'entretien. Mais pour transporter une quantité raisonnable d'énergie il faut utiliser des volumes d'air très importants.

*** l'eau**

Un excellent fluide caloporteur pour sa chaleur massique mais le risque de gel pendant les nuits d'hiver et le risque d'ébullition en cas haute température pose des problèmes.

La naissance des couches de tartre dans les canalisations au fil de temps diminue la quantité de chaleur échangées.

*** Les gyltherms**

Des liquides organiques à base de polyphényles hydrogénés ou d'hydrocarbures linéaires traités pour ne pas présenter les mêmes défauts que l'eau, leur chaleur massique est 0,5Kcal/Kg.K.

Ces hydrocarbures se détériorent en présence des traces d'eau ou d'air et combustibles à haute température. En utilise dans les applications de l'énergie solaire .

II.3. Différents types des capteurs solaires plans à air :

Les types de capteurs solaires sont très divers même si leur composition reste approximativement la même [24].

On distingue trois grandes catégories de capteurs plans à air :

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

II.3.1 Capteurs à absorbeur plan :

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

On distingue quatre types des capteurs selon leurs modes d'écoulement:

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

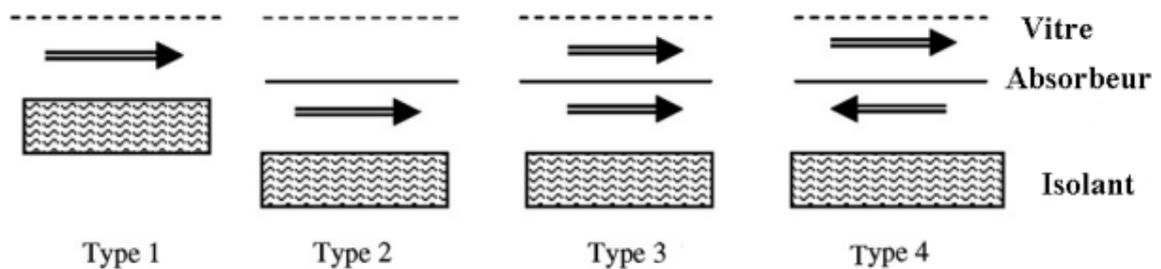


Figure II.5 : Les types génériques principaux d'écoulements [25]

II.3.2 Capteurs à absorbeur perméable :

L'amélioration du rapport surface d'échange sur projection de la surface d'absorbeur consiste à utiliser un absorbeur poreux.

On peut utiliser à cet effet du tissu noir, de la fibre de verre noircie, des écrans rainurés et étirés, de la laine d'acier ou des assemblages de lamelles.

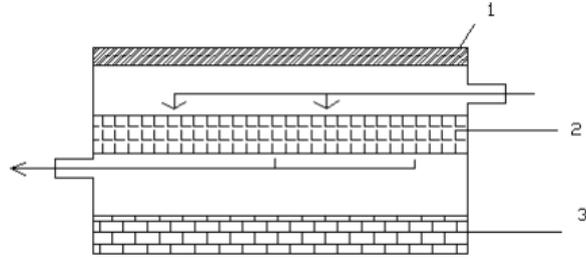


Figure II.6 : Capteurs à absorbeur perméable [26]

1-vitre.

2-absorbeur poreux.

3-isolant

II.3.3 Capteurs à absorbeur à géométrie variable

Si l'on veut utiliser le vitrage comme une garde pour réduire les pertes de chaleur il faut que le transfert de chaleur ait lieu entre le dos de l'absorbeur et l'air. L'absorbeur constitue alors la paroi frontale du canal d'air et le revêtement intérieur de l'isolation constitue le fond du canal. On peut augmenter la surface d'échange de chaleur soit en donnant un pouvoir émissif élevé au dos de l'absorbeur et à la face interne

de l'isolation, soit en donnant à l'absorbeur une surface striée ou rainurée.

Les formes les plus utilisées sont les suivantes :



Figure II.7 : différents type d'absorbeur [27].

II.4. Les avantages et inconvénients des capteurs

➤ **Avantage :**

Longueur durée de vie. Efficacité énergétique.

➤ **Inconvénients :**

Ne convient qu'à hautes températures. La température interne peut monter très rapidement dans l'absence de circulation de fluide caloporteur.

II.5. Performance est exposition :

La performance d'un capteur est liée à son exposition solaire, il s'agit de son orientation optimale plein sud et de l'absence d'ombre au cours de la journée.

L'inclinaison aussi va jouer en fonction des saisons, un capteur présentant une faible pente sera très exposé en été lorsque le soleil sera bien haut par contre sera peut adapter pour un fonctionnement hivernal [28].

II.6. Applications des capteurs solaires à air :

➤ **Chauffages et climatisation des habitations**

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

1- Capteur solaire plan à air

2- Filtre

3- Ventilateur

4- Entrées d'air

5- Sorties d'air

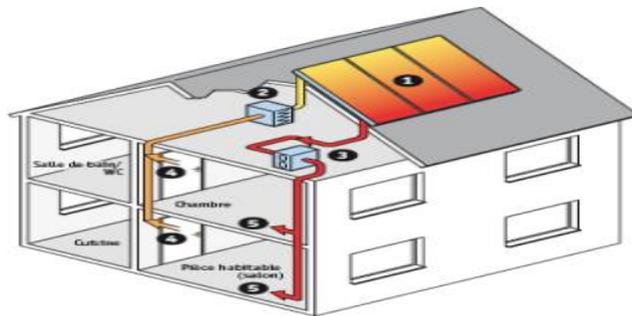


Figure II.8 : Chauffage et climatisation des habitations [29]

Le système de capteur solaire à air se 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.

➤ **Le séchage :**

Utilisation des capteurs solaire 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.

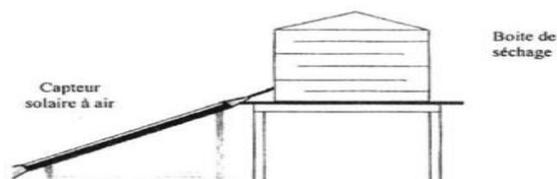


Figure II.9 : séchage solaire. [30]

II .7 .Conclusion

Dans ce chapitre , nous avons présenté , caractéristiques technique des capteurs solaires à air , les différents types des capteurs solaires à air et la performances d'un capteur solaire et les domaines d'utilisation .

III-1) Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons la conception et la réalisation de différents éléments qui constituent les différents éléments qui composent le capteur d'air solaire.

III-2) Réalisation d'un capteur solaire à air :

La réalisation de notre capteur s'est déroulée au niveau de l'atelier de Monsieur Doumaz Toufik au niveau de département des énergies renouvelable.

Suivant les étapes présentées :

III-2-1) Le boîtier :

Le boîtier est l'enceinte des éléments du capteur. Il enveloppe l'isolant ainsi quela plaque d'aluminium , Notre capteur est constitué d'une caisse faite en bois d'excellente qualité, et ouverte sur le côté exposé au rayonnement solaire et sur les deux cotés latéraux pour le passage de l'air Il assure la solidité mécanique et l'étanchéité de l'ensemble.



Figure (III-1) : Le boîtier en bois rouge.

Le tableau (III-1) donne les dimensions de ce boîtier :

| | |
|-----------------------------|---------------------------|
| Longueur | 1.88 m |
| Largeur | 0.98 m |
| Hauteur | 20 cm |
| Epaisseur | 2 cm |
| Surface de captation | 1.84 m² |

Tableau (III-1) : Dimensions du boîtier.

III-2-2) L'isolant :

L'isolation joue un rôle très important qui consiste en la réduction des fuites thermiques ;

Afin de minimiser les déperditions, il est nécessaire d'assurer l'ensemble du capteur, en utilisant la mousse polyuréthane comme isolant thermique de Conductivité de 0.03 W/m.K est une couche de polystyrène de l'épaisseur de 5 cm qui couvre tous l'intérieur du boîtier



Figure (II-2) :l'isolation

III-2-3) La plaque d'aluminium:

L'aluminium est un métal léger, ductile et résistant à la corrosion ,il possède une bonne conductivité électrique et thermique



Figure (II-3) : La plaque d'aluminium utilisé

II-2-3-1) Traitement de la plaque d'aluminium

La plaque d'aluminium à l'intérieur du boîtier, recouvert sur la face exposé au rayonnement après avoir récupéré et nettoyé Afin d'obtenir une surface plus absorbante, on les peint avec une peinture noire mate, vu que la couleur noire absorbe le maximum du rayonnement solaire, comme nous montre la figure suivante :



Figure (II-4) : La plaque d'aluminium ont été peintes avec une couleur noir

III-2-4) Plaque transparente :

Pour fermer le capteur, deux plaque transparente en verre vient ce placer au-dessus de celui-ci, qui a la propriété de laisser passer entre 84 et 92 % du rayonnement solaire.



Figure (II-5) : Plaque transparente en verre

Les dimensions de la vitre sont données dans le tableau suivant :

| | |
|-----------------------------|---------------------------|
| Longueur plaque 1 | 1.02 m |
| Longueur plaque 2 | 0.92 m |
| Largeur | 1.00 m |
| Epaisseur | 5 mm |
| Surface 1 | 1.02 m² |
| Surface 2 | 0.92 m² |
| Surface de captation | 1.94 m² |

Tableau (II-2) : Dimension de la vitre.

III-2-5) Ventilateurs :

Une fois que toutes les étapes sont franchies, on place un extracteur d'air pour faire circuler l'air chaud de l'intérieur du capteur vers l'extérieur. On a opté pour un modèle de 14 W, vu que sa consommation en électricité reste faible et son emplacement est facile à réaliser.

A des caractéristiques suivantes :

IS- 3210 SNFSA AC 220 V 50 HZ



Figure (II-6) : le ventilateur

III-3) Fabrication du capteur :



Figure (II-7) : photo représente le capteur solaire réalisé fini

III-4) Estimation du cout du capteur :

Le tableau suivant donne les différents matériaux acheté pour la réalisation du notre capteur :

| Matériaux | Quantité | Cout |
|------------------------------|-----------------|-------------|
| boîtier | (1*2m) | 3500 DA |
| Deux Verre ordinaire | (1*2m) | 5 000 DA |
| Polystyrène | (1*2) | 500 DA |
| Mousse polyuréthane | 02 | 1300 DA |
| La plaque d'aluminium | (1*2) | 10000 DA |
| Peinture noire | 03 | 1 450 DA |

| | | |
|----------------------------------|--------------|------------------|
| Silicone | 02 | 800 DA |
| ventilateur | 01 | 1800 DA |
| Tuyaux d'évacuation d'air | 01 | 500 DA |
| | TOTAL | 24 850 DA |

Tableau (II-3) : les différents matériaux acheté

II.5) Instrument de mesure

II.5.1) Caractéristiques de site Blida :

- Latitude : 36.4
- Longitude : 2.8°
- Altitude : 272 m
- Albédo : 0.2

II.5.2. Mesure de températures

Il existe de nombreuses façons pour la mesure de températures. Les thermocouples sont parmi les plus utilisés dans des conditions similaires. Dans ce contexte, plusieurs impératifs sont à considérer : La gamme de températures à mesurer varie de 0 à 100 °C, pour cela nous avons choisi des thermocouples (chromel alumel) de type K. Le constantan étant un alliage de cuivre et de Nickel, en raison de sa disponibilité, sa bonne sensibilité et un temps de réponse rapide associé à une courbe de réponse quasi linéaire dans le domaine de températures considérées.



Figure III.8 *Thermocouple (chromel alumel) de type K*

- Notre système est constitué de 11 thermocouples de type **K (Cr-Al)**

III.5.3. Mesure du rayonnement solaire global

Pour mesurer l'éclairement solaire global, un pyranomètre de model CM 6B N° 973313 qui est placé sur une surface inclinée parallèle au vitrage du capteur.



Figure III.9.*un pyranomètre*

III.5.4 Acquisition de donné :

Pour l'enregistrement des données tels que les températures et l'éclairement.



Figure (III-10) : photo de l'acquisition.

➤ III.6 Les Caractéristiques du capteur auto- stockage



Figure (III-11) : photo de capteur à auto-stockage

Pour la réalisation du capteur solaire à air auto-stockeur on a utilisé les matériaux suivants :

- Un boîtier en bois de 0.98 m* 1.98 m
- deux trous de 12mm de diamètre pour la convergence d'évacuation d'air.
- Mousse polyuréthane (isolation arrière et latérale).
- une couche de polyester de 4 cm mm d'épaisseur
- Deux Vitre (verre transparent) de 2 m² de surface et de 5 mm d'épaisseur
- Une barre en bois pour séparer les deux vitres
- Ventilateurs de 220v 50/60 Hz
- Joins de silicone blanc 0.005m* 1.98m de long
- Joins de silicone blanc 0.005 m* 0.98 m de largeur
- Un tuyau d'évacuation d'air
- Les pierres de galets
- une couche de peinture de couleur noire matte

III-7) Conclusion :

Toutes ces opérations nous fournissent un capteur d'air solaire parfaitement utilisé.

Différentes contraintes s'appliquaient dans le processus de mise en œuvre , et définie les instruments de mesure.

IV-1) Introduction

Ce chapitre est dédié à l'analyse approfondie et à la discussion des résultats obtenus, visant à parvenir à une conclusion concernant l'étude comparative du capteur solaire à air classique et capteur solaire à air auto-stockeur. Les résultats seront présentés sous forme de courbes, en mettant en évidence les données relatives à la convection naturelle et à la convection forcée.

IV-2) Cas de convection naturelle

Les résultats expérimentaux présentés sont les mesures en convection naturelle, pour la journée du **08 juillet 2023**

IV-2-1) Analyse des résultats

- **La figure (IV-1)** représente l'éclairement solaire global incliné par rapport à la surface du capteur en fonction du temps. Nous avons remarqué qu'il y a des fluctuations du rayonnement global de cette journée à cause des passages nuageux, on a enregistré une valeur maximale (864,80 w/m²) à 12h :43 min.

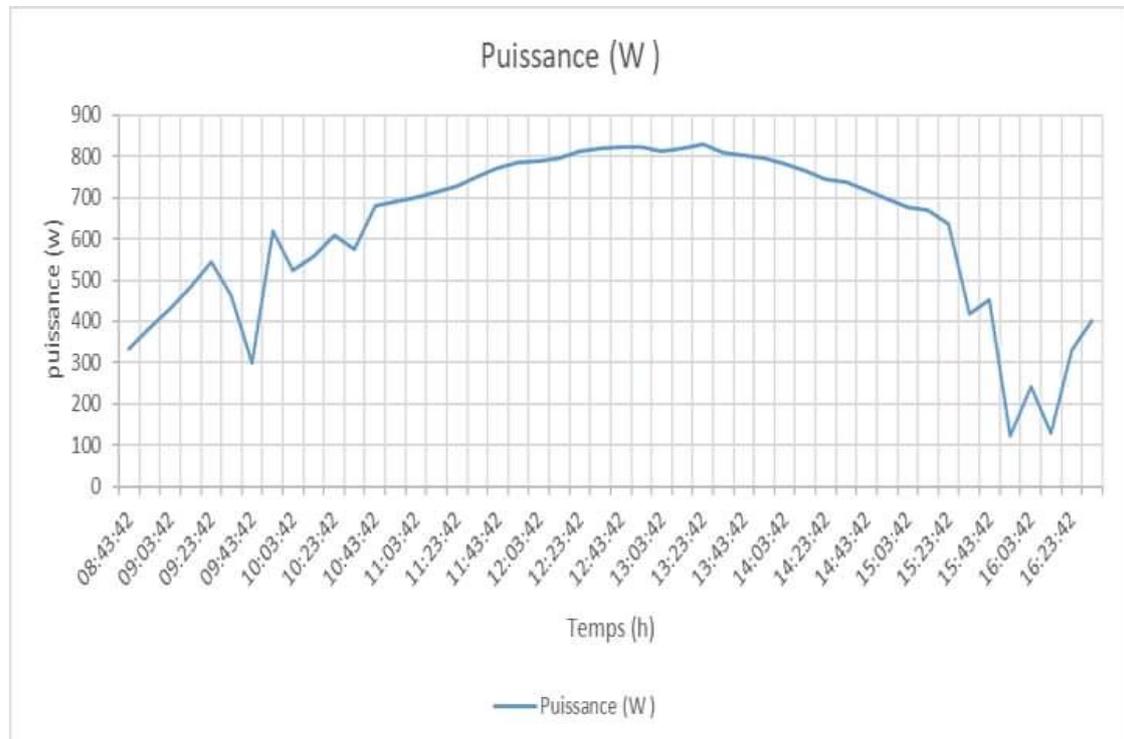


Figure (IV-1) : la variation de l'éclairement globale

| temps | Tplaque | Tair | Tsortie | Tentree | Tamb | ΔT |
|-------|---------|------|---------|---------|------|------------|
| 11:00 | 86 | 58 | 69 | 40 | 33 | 29 |
| 11:05 | 89 | 64 | 72 | 41 | 36 | 31 |
| 11:15 | 95 | 67 | 79 | 43 | 39 | 36 |
| 11:30 | 105 | 74 | 85 | 53 | 42 | 32 |
| 11:45 | 104 | 77 | 87 | 54 | 42 | 33 |
| 12:00 | 105 | 79 | 88 | 50 | 42 | 38 |
| 12:10 | 109 | 80 | 88 | 51 | 41 | 37 |
| 12:30 | 111 | 80 | 90 | 46 | 43 | 44 |
| 12:45 | 81 | 71 | 74 | 45 | 44 | 29 |
| 13:00 | 82 | 68 | 71 | 41 | 38 | 30 |
| 13:30 | 84 | 70 | 74 | 42 | 40 | 32 |
| 14:00 | 70 | 60 | 63 | 39 | 38 | 24 |
| 14:15 | 80 | 60 | 68 | 41 | 36 | 27 |
| 14:45 | 75 | 69 | 66 | 41 | 38 | 25 |
| 15:00 | 84 | 64 | 71 | 43 | 38 | 28 |
| 15:15 | 82 | 60 | 70 | 45 | 40 | 25 |
| 15:30 | 81 | 63 | 69 | 44 | 38 | 25 |
| 15:45 | 84 | 67 | 69 | 48 | 41 | 21 |
| 16:00 | 83 | 67 | 69 | 48 | 38 | 21 |
| 18:00 | 38 | 34 | 35 | 33 | 32 | 2 |

Tableau IV.1 :Les variations des températures dans le capteur à air classique

| temps | T pierre | Tair | Tsortie | Tentree | Tamb | ΔT |
|-------|----------|------|---------|---------|------|------------|
| 11:00 | 52 | 49 | 58 | 40 | 33 | 18 |
| 11:05 | 54 | 51 | 60 | 41 | 36 | 19 |
| 11:15 | 55 | 52 | 63 | 46 | 39 | 17 |
| 11:30 | 66 | 59 | 67 | 51 | 42 | 16 |
| 11:45 | 67 | 60 | 69 | 54 | 42 | 15 |
| 12:00 | 67 | 58 | 72 | 50 | 42 | 22 |
| 12:10 | 67 | 58 | 72 | 50 | 42 | 22 |
| 12:30 | 70 | 60 | 75 | 50 | 43 | 25 |
| 12:45 | 70 | 61 | 74 | 54 | 44 | 20 |
| 13:00 | 68 | 61 | 71 | 42 | 38 | 29 |
| 13:30 | 68 | 61 | 71 | 43 | 40 | 28 |
| 14:00 | 62 | 59 | 69 | 43 | 38 | 26 |
| 14:15 | 60 | 59 | 71 | 44 | 36 | 27 |
| 14:45 | 58 | 55 | 72 | 44 | 38 | 28 |
| 15:00 | 60 | 58 | 72 | 45 | 38 | 27 |
| 15:15 | 64 | 55 | 74 | 45 | 40 | 29 |
| 15:30 | 65 | 60 | 75 | 44 | 38 | 31 |
| 15:45 | 68 | 61 | 74 | 48 | 41 | 26 |
| 16:00 | 65 | 60 | 74 | 46 | 38 | 28 |
| 18:00 | 38 | 35 | 52 | 33 | 32 | 19 |

Tableau IV.2 :Les variations des températures dans le capteur à air auto-stockeur

- **Les figures (IV-2), (IV-3)** représentent les profils de température du pour chaque capteur à air.

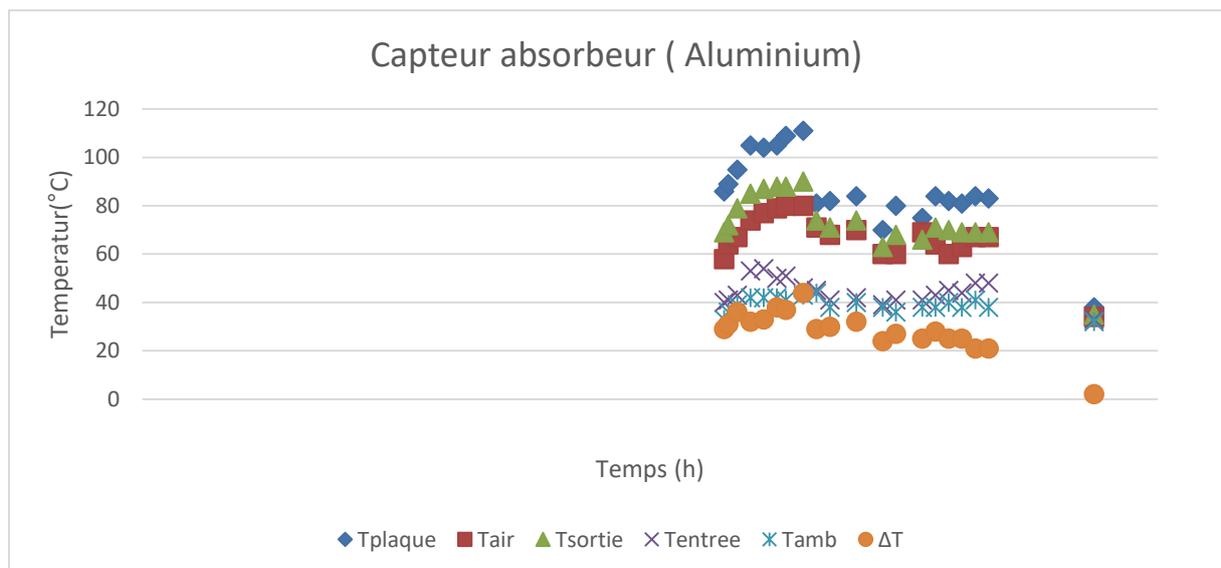


Figure (IV-2) : Les variations des températures au niveau de capteur simple

Tp1 : La Température dans la plaque d'aluminium au niveau de capteur à air .

Tair1 : La Température dans l'air au niveau de capteur à air .

Ts1 : La Température de sortie au niveau de capteur à air.

Te 1: La Température d'entrée au niveau de capteur à air.

Tamb1 : La Température ambiante au niveau de capteur à air

$\Delta T1$: La différence entre la température de sortie l'entrée ($T_s - T_e$) au niveau de capteur à air

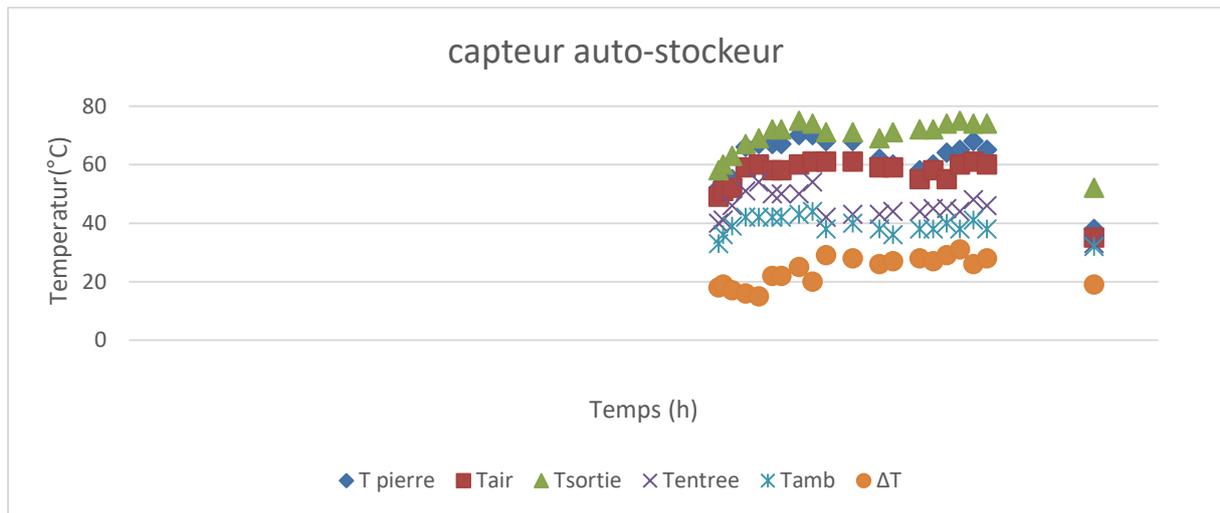


Figure (IV-3) : Les variations des températures au niveau de capteur auto-stockeur

Tp2 : La Température dans les pierre au niveau de capteur à air auto-stockeur..

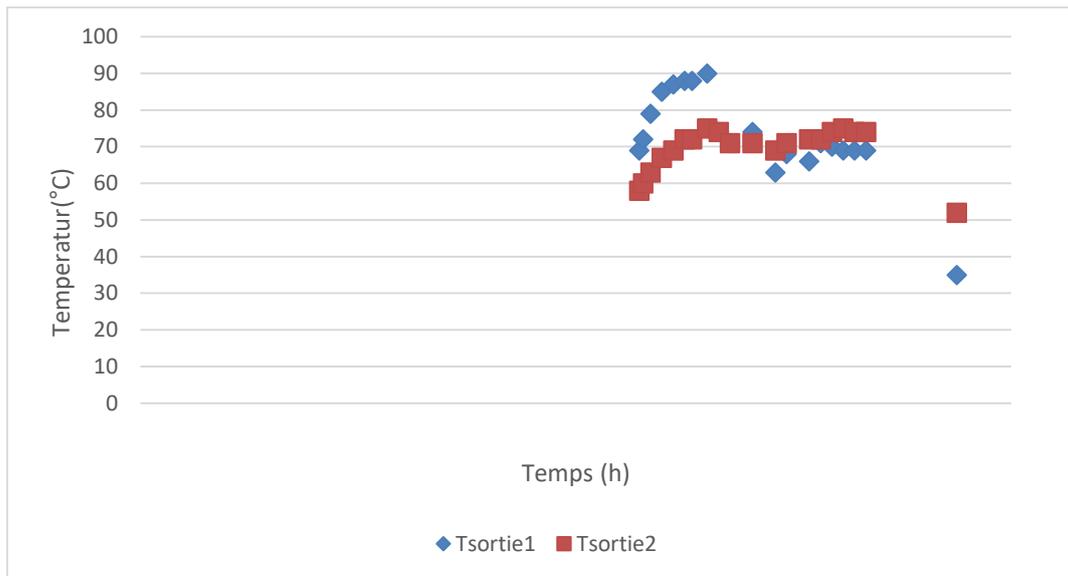
Tair2 : La Température dans l'air niveau au de capteur à air auto-stockeur..

Ts2 : La Température de sortie niveau au de capteur à air auto-stockeur.

Te2 : La Température d'entrée au niveau de capteur à air auto-stockeur.

Tamb2 : La Température ambiante au niveau de capteur à air auto-stockeur.

$\Delta T2$: La différence entre la température de sortie l'entrée ($T_s - T_e$) niveau de capteur à air auto-stockeur..

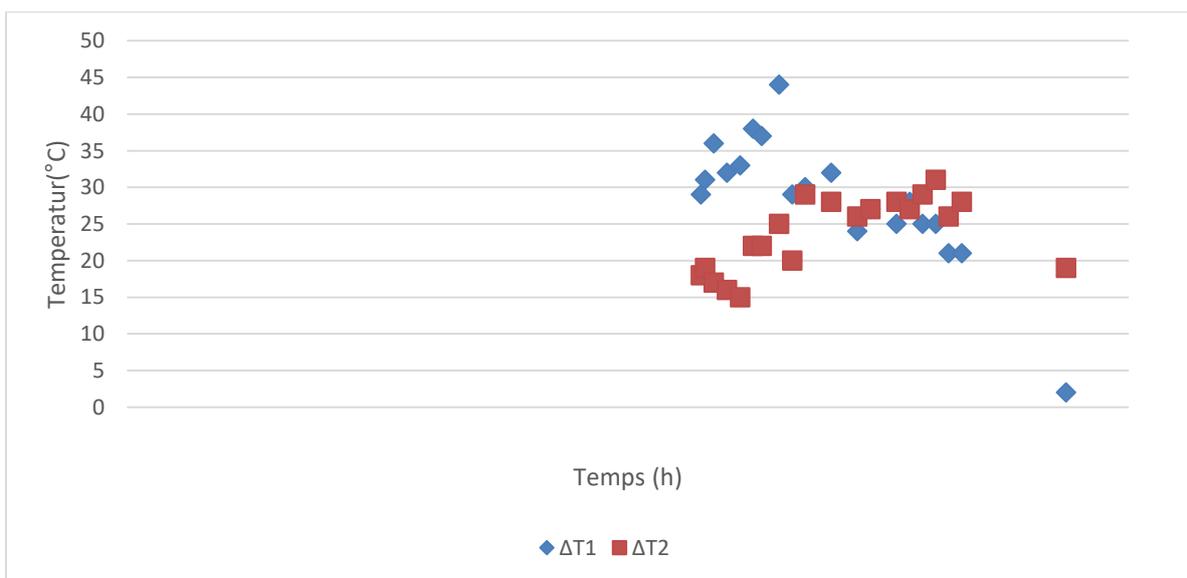


Les figures (IV-5) : les profils de température de sortie au niveau de chaque capteur.

- **Les figures (IV-5)** En observant les variations de la température de sortie au niveau de chaque capteur, nous constatons que les deux courbes présentent une oscillation continue. De plus, nous remarquons qu'elles atteignent la même température.

Initialement à 13h : 00, elles atteignent toutes les deux 71 °C. Il est également à noter que la première courbe commence à décroître avant la seconde, car la dernière valeur atteinte par la première courbe à 18 h : 00 est de 35 °C ; tandis que la seconde courbe reste élevée à 52 °C.

- **Les figures (IV-6) :** représente La variation de Δt de chaque capteur à air



Les figures (IV-6) : La variation de Δt de chaque capteur à air

Les figures (IV-6) : représente La variation de Δt de chaque capteur à air . J'ai observer que la première courbe de capteur à air classique présente un maximum à 44 °C à 12h :30, tandis que la deuxième de capteur à air auto- stockeur atteint un maximum à 29°C à 13h :00.

De plus à 18 h :00, la première courbe affiche une valeur de 2 °C , tandis que la deuxième courbe indique une valeur de 19 °C , ce qui indique une différence entre les deux courbes .

IV-3) Cas Convection forcée :

Les résultats expérimentaux pour la convection forcée sont présentés sous forme de graphes,est pris dans la journée du **09 juillet 2023**

IV-3-1-) Analyse des résultats :

- **La figure (IV-7)** représente l'éclairement solaire global incliné sur la surface du capteur en fonction du temps. Nous avons remarqué l'instabilité de la courbe ce jour-là à cause des passages nuageux au cours de la journée, on a enregistré une valeur maximale (800w/m²) à 12h45.

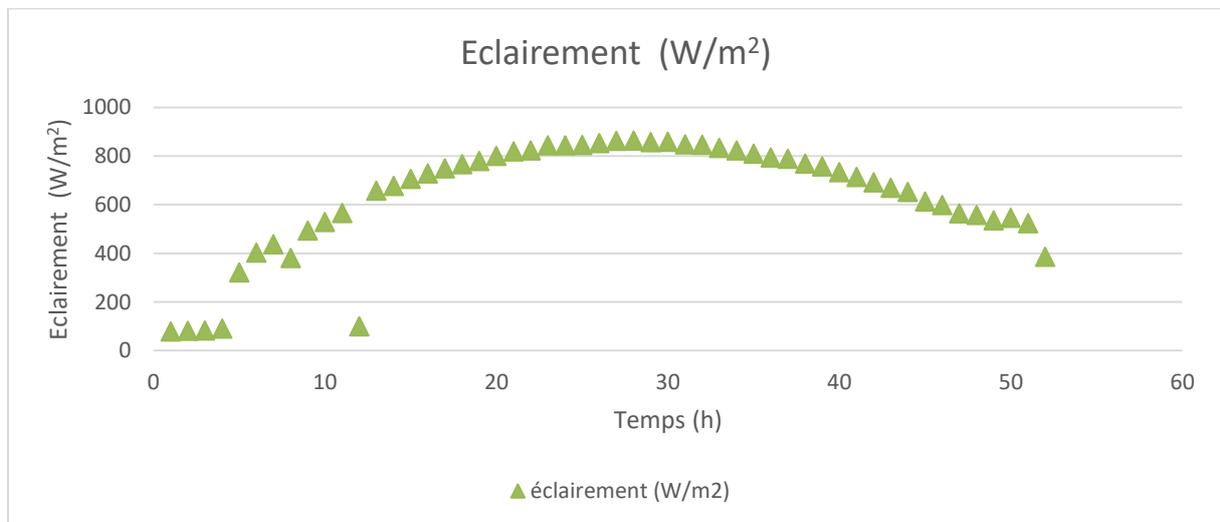


Figure (IV-7) : la variation de l'éclairement globale

| temps | Tplaque | Tair | Tsortie | Tentree | Tamb | ΔT |
|-------|---------|------|---------|---------|------|------------|
| 13:00 | 100 | 68 | 71 | 41 | 36 | 30 |
| 13:20 | 113 | 72 | 79 | 49 | 38 | 30 |
| 13:30 | 115 | 79 | 82 | 54 | 43 | 28 |
| 13:45 | 117 | 82 | 82 | 56 | 42 | 26 |
| 14:00 | 117 | 83 | 85 | 57 | 46 | 28 |
| 14:15 | 115 | 83 | 86 | 56 | 46 | 30 |
| 14:30 | 111 | 78 | 82 | 60 | 45 | 22 |
| 14:45 | 111 | 78 | 84 | 51 | 46 | 33 |
| 15:15 | 105 | 78 | 76 | 54 | 48 | 22 |
| 15:30 | 90 | 69 | 69 | 52 | 44 | 17 |
| 15:45 | 79 | 63 | 62 | 50 | 41 | 12 |
| 16:00 | 70 | 58 | 58 | 52 | 42 | 6 |
| 16:15 | 61 | 53 | 53 | 50 | 48 | 3 |

Tableau IV.3: Les variations des températures dans le capteur à air classique

| temps | Tpierre | Tair | Tsortie | Tentree | Tamb | ΔT |
|-------|---------|------|---------|---------|------|------------|
| 13:00 | 81 | 54 | 68 | 33 | 38 | 35 |
| 13:20 | 86 | 74 | 75 | 41 | 38 | 34 |
| 13:30 | 96 | 81 | 79 | 46 | 43 | 33 |
| 13:45 | 96 | 86 | 81 | 45 | 42 | 36 |
| 14:00 | 95 | 85 | 82 | 44 | 46 | 38 |
| 14:15 | 95 | 84 | 83 | 43 | 46 | 40 |
| 14:30 | 91 | 78 | 79 | 43 | 45 | 36 |
| 14:45 | 91 | 80 | 81 | 44 | 46 | 37 |
| 15:15 | 90 | 77 | 79 | 42 | 46 | 37 |
| 15:30 | 94 | 78 | 76 | 42 | 44 | 34 |
| 15:45 | 86 | 75 | 74 | 42 | 41 | 32 |
| 16:00 | 86 | 78 | 70 | 42 | 42 | 28 |
| 16:15 | 88 | 70 | 68 | 41 | 42 | 27 |

Tableau IV.2 : Les variations des températures dans le capteur à air auto-stockeur

- Les figures (IV-2), (IV-3) représentent les profils de température du pour chaque capteur à air.

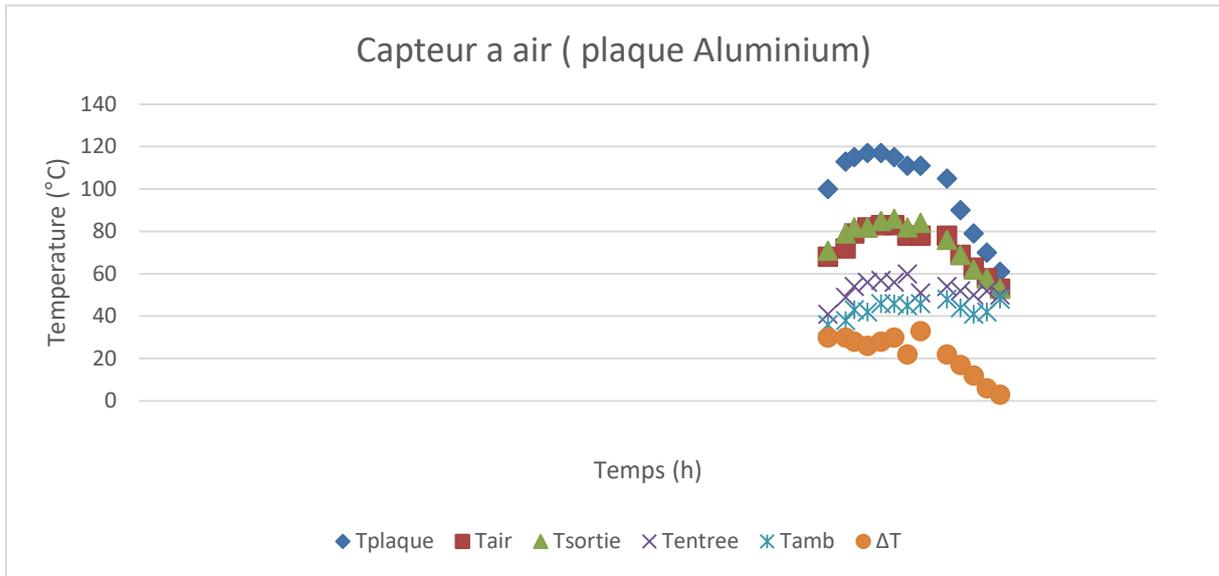


Figure (IV-8) : Les variations des températures au niveau de capteur à air

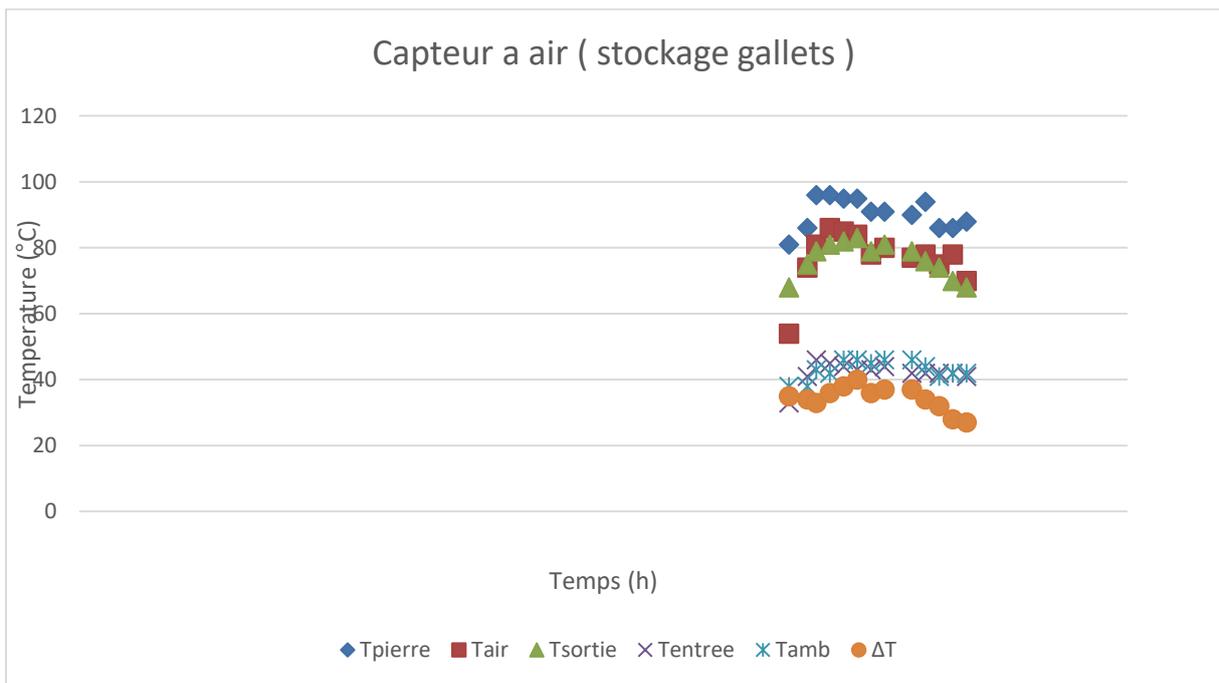
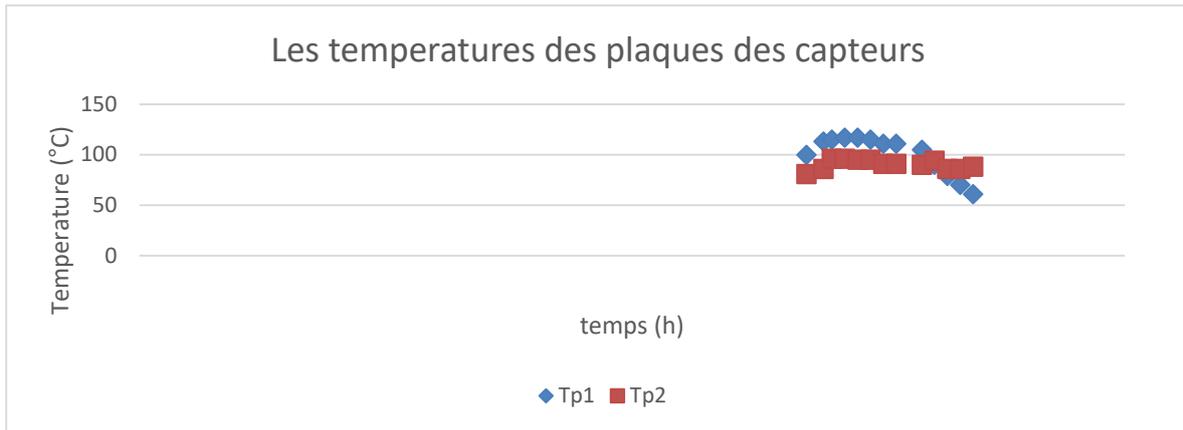


Figure (IV-9) : Les variations des températures au niveau de capteur auto-stockeur

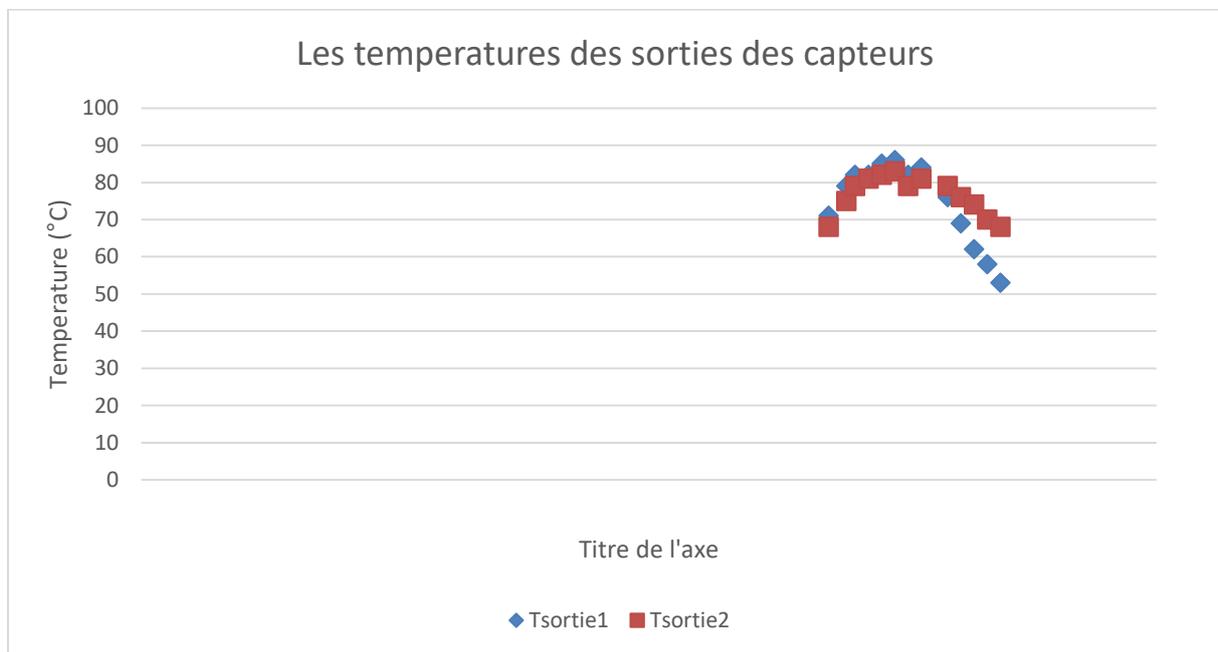
- **Les figures (IV-10) :** représentent les profils de température de au niveau la plaque d'aluminium et des pierres.



Les figures (IV-10) : les profils de température de au niveau la plaque d'aluminium et des pierres.

Les figures (IV-10) A partir de l'analyse des courbes , il est notable que leur intersection se produit lorsque la température atteint 90°C à 15h :15.Cependant , il est important de noter que la première courbe présente une décroissance abrupte , tandis que la second connait une décroissance plus graduelle .

- **Les figures (IV-11) :** représente les profils de température de sortie au niveau de chaque capteur

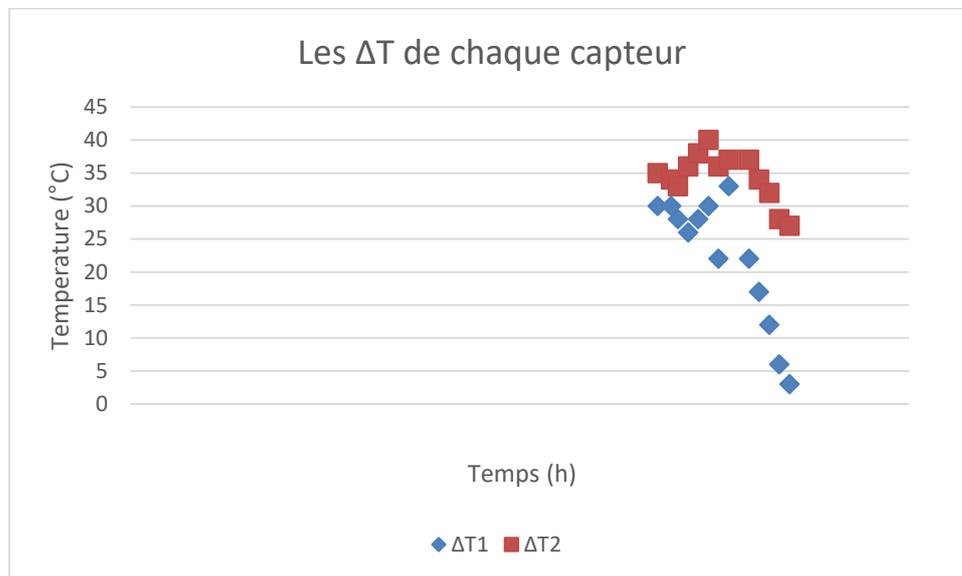


Les figures (IV-11) : les profils de température de sortie au niveau de chaque capteur

Les figures (IV-11) En analysant le graphique représentant les variations de la température de la sortie au niveau de chaque capteur , nous constatons que les deux courbes se croisent en un point unique , qui correspond à la valeur maximale pour chaque courbe , soit 83°C à 14h :15

.Cependant, la première courbe présente une décroissance rapide , tandis que la deuxième courbe présente une décroissance progressive .

Les figures (IV-12) : représente La variation de Δt de chaque capteur à air



Les figures (IV-12) : La variation de Δt de chaque capteur à air

- **Les figures (IV-12)** En analysant les courbes , il est observable que la deuxième (auto stockage) présente une amélioration par rapport à la première . On constate que la première courbe décroît jusqu’au atteindre 3°C à 16h 15 , tandis que la seconde décroît graduellement pour atteindre 27°C à la même heure.

IV-4) Conclusion : Dans ce chapitre on a présenté les principaux résultats expérimentaux de chaque capteur, de l’éclatement global, de la température d’entrée et de sortie, la température de plaque d’aluminium et la température des galets et la température à l’intérieur du capteur, et la température dans les deux cas(forcée et naturelle). Après avoir ses résultats, on a constaté que nos tests expérimentaux sont acceptables.

On a conclu de cette étude expérimentale les résultats suivants :

- Il y a une différence au niveau de la température de sortie entre les deux capteurs, dans les deux cas.
- La valeur maximale de température de sortie pour un capteur à air classique est égale 90°C(en cas convection naturelle) et 86 °C (en cas convection forcée)
- La valeur maximale de température de plaque d’aluminium est égale 111°C (en cas convection naturelle) et 117°C(en cas convection forcée)
- La valeur maximale de température des pierres 70° C (en cas convection naturelle)et 96 °C(en cas convection forcée)

Conclusion générale

Le système de capteur à air solaire est considéré le système le plus simple pour le chauffage thermique dépendent des paramètres thermo physiques du fluide caloporteur et des constituants du système et des paramètres météorologiques, mais aussi dépendent de la manière de consommation de l'air chaude qui trouve dans la cuve de stockage.

L'objectif de ce travail est étude expérimentalement d'un capteur à air classique et faire une étude comparative avec un capteur à air auto-stockeur .

Le capteur est installé dans le département de mécanique de l'Université de Blida 1.

Les résultats obtenus est de deux déférence journée (**08-07-2023 et 09-07-2023**) avec déférence éclairement solaire .

A travers notre étude, nous avons extrait les résultats suivants :

- D'après nos conclusion, il a été observé que le capteur à air avec la plaque d'aluminium attient une température de 117°C .Toutefois, en raison des propriétés thermique de l' aluminium , cette température diminue rapidement après le coucher de soleil .En ce qui concerne que le capteur auto-stockage bien qu'il n'ait pas atteint des valeurs élevées comparativement à capteur à air classique , il a maintenu une température plus élevé pendant une durée prolongée par rapport à celui-ci.
- l'évacuation de la chaleur vers l'espace a chauffée ce fait en faisant circulé l'air a chauffé de bas en haut.
- L'avantage de type de système (auto-stockeur) met en jeu une grande surface de contact avec l'air (surface développée de pierre) permettant des échanges thermiques importants.
- Les pierres utilisées ont une inertie thermique importante qui permet de stocker la chaleur aussi longtemps possible.
- L'inertie thermique des pierres utilisées a un rôle important de minimaliser les fluctuations de température de lit de galet en toute circonstance extérieur.
- En se basent sur cette conclusion on peut déduire que le capteur à air classique au supérieur au premier , car il permet de stocker une plus grande quantité d'énergie pendant une période prolongé
- Ces conclusions confirment le potentiel de cette technologie dans le domaine de la production d'énergie thermique, en offrant une solution durable et efficace pour le stockage et l'utilisation de l'énergie solaire.

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 alimentaires, matériaux de construction, bois...).

- [1] D. Semmar , S. Betrouni et D. Lafri Etude et Réalisation d'un Capteur Solaire à Air (1998)
- [2] F. Mokhtari et D. Semmar Etude Expérimentale d'un Capteur Solaire à Air (1999)
- [3] F. Mokhtari et D. Semmar L'Influence de la Configuration de l'Absorbeur sur les Performances Thermiques d'un Capteur Solaire à Air (2001)
- [4] M. Ayadi, I. Zouari et A. Bellagi Simulation d'une association d'un capteur solaire à air et un stock pour une unité de séchage solaire (2008)
- [5] S. Oudjedi, A. Boubghal, W. Braham Chaouch, T. Chergui et A. Belhamri Etude théorique et expérimentale d'un capteur solaire à air destiné au séchage (2008)
- [6] S. Kherrou, A. Bouhdjar , A. Boualit , S. Hanini , K. Kaci and R. Zarrit Comportement thermique du canal d'un capteur à air horizontal sous l'effet du rayonnement solaire (2014)
- [7] A. Bouguima , K. Abbou , Etude et réalisation d'un capteur solaire plan à eau , Mémoire pour l'Obtention du Diplôme de Master , 2014-2015 , p 5-6 .
- [8] J. Bernard. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [9] Y. Jannot, thermique solaire, (2011).
- [10] <http://nicolaselie.free.fr/tpe/html/mouvements.html>.
- [11] J. M Chassériau, Conversion thermique du rayonnement solaire ; Dunod, 1984.
- [12] M. Capderou. Atlas solaire de l'Algérie, Tome 1, Vol. 1 et 2 ; ,1987.
- [13] J. A. Duffie, W. A. Beckman. Solar engineering of thermal processes, John Wiley and Sons. (1980).
- [14] Y. Jannot. Thermique solaire, Mars 2011.
- [16] A. Sfeir; G. Guarracino. Ingénierie des systèmes solaires, Technique et documentation, Paris. (1981).
- [14] P. H. Communay. Héliothermique : le gisement solaire, méthodes et calculs, Groupe de Et d'Édition, France. (2000)
- [17] **Afedes, Momosol**, mementod'héliotechnique, édition européenne thermique et industrie, Paris 1979.
- [18] **Samuel Bragard** « Del'étude réalisation de projets endéveloppement durable », Energie 2030 Agences. a.087/632444.
- [19] **Ben Slama, R.** (2007) "The air solar collectors: Comparative study, introduction of baffles to favor the heat transfer", Solar Energy 81, 139–149
- [20] **Patankar, S.V., Liu, C.H. and Sparrow, E.M.** (1977), "Fully developed flow

and heat transfer in ducts having streamwise-periodic variations of cross-sectional area", *Journal of Heat Transfer*, Vol.99, pp.180-6.

[21] **Kellar, K. M., Patankar, S. V.**, (1987) "Numerical prediction of flow and heat transfer in parallel plate channel with staggered fins", *Journal of heat transfer*. 109, pp.25-30

[22] **Bemer, C., Durst, F., McEligot, DM.** (1984) "Numerical study of fluid flow and heat transfer in a parallel plate channel with baffles", *Journal of Heat Transfer*, pp.106-743.

[23]

Webb, B. W., Ramadhyani, S., (1985), "Conjugate heat transfer in a channel with staggered ribs", *Int. J. Heat Mass Transfer* 28, pp.1679–1687.

[24]

Lopez, J. R., Anand, N. K., Flecher, L. S., (1995) "A numerical analysis of laminar convective heat transfer in a three dimensional channel with baffles" in: *Proceedings of the Third U.S. National Congress on Computational Mechanics*, Dallas, TX, vol.1, pp.406–416.

[25] **Lopez, J. R., Anand, N. K., Fletcher, L. S.** (1996) "Heat transfer in a three-dimensional channel with baffles", *Numerical Heat Transfer*. 30, pp.189–205.

[26] **Cheng Chin-Hsiang and Huang Wen-Hsiung**, (1991) "Numerical prediction for laminar forced convection in parallel-plate channels with transverse fin arrays", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 34, Issue 11, pp.2739-2749

[27] **Cheng CH, Huang WH.** *Int J Heat Mass Transfer* (1991) 20, pp.1315.

[28] **Guo, Z. and Anand, N. K.**, (1997) "Three Dimensional Heat Transfer in a Channel with a Baffle in the Entrance Region" *Numerical Heat Transfer, Part A*, Vol.31, pp21-30.

[29] **Bazdidi-Tehrani, F., and Naderi-Abadi, M.**, (2004) "Numerical Analysis of Laminar Heat Transfer in Entrance Region of a Horizontal Channel with Transverse fins", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 31, No. 2, pp.211-

220.

[30] YT, Hwang CZ. (2003) "Calculation of turbulent flow and heat transfer in porous-based channel", *Int.J.HeatMass.Transfer*;46,pp.771–80.