



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR ET DE LARECHERCHE SCIENTIFIQUE



**UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**

Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention de master en Génie Mécanique

Option : énergétique

Thème :

**Etude et réalisation d'un capteur solaire à air
Auto-stockeur**

Proposé et dirigé par :

Docteur D.Lafri

Co-promoter:

Professeur D.Semmar

présentés par :

- Mougafi Akram

- El haddi Abdelkarim

Année universitaire 2022 / 2023

REMERCIEMENT

Nous désirons aussi remercier les professeurs et le cadre administratif de l'université de Saad Dahleb Blida, qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires. Nous remercions plus spécialement, notre encadrant académique Docteur D.LAFRI et le Co-promoteur le Professeur D.SEMMAR, et nous les remercions aussi pour son soutien constant, son disponibilité, et sa confiance.

Sans oublier d'exprimer notre profonde gratitude à nos très chers parents, qui me réservent toujours compréhension, tendresse et amour. Nous remercions nos frères, pour leurs encouragements. Nous remercions aussi nos amis et nos collègues qui nous ont apporté leur soutien intellectuel et moral tout au long de ma démarche.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce projet de fin d'études,
Il est impossible de mettre des mots sur ma gratitude pour tout le soutien et l'encouragement que j'ai reçus tout au long de ce parcours. Vous avez été les piliers sur lesquels je me suis appuyé(e) pour surmonter les défis et atteindre mes objectifs.

Je tiens à remercier mes formidables professeurs et encadrants, dont la patience, les connaissances et la passion ont été une source d'inspiration constante. Vos conseils avisés et votre soutien inconditionnel m'ont permis de me surpasser et d'élargir mes horizons académiques.

Je souhaite également exprimer ma gratitude envers

Ma chère mère et mon cher père,

Mes frères : Soufiane et Hichem, ma petite sœur et toute ma famille

Qui m'ont soutenu(e) et encouragé(e) tout au long de cette aventure. Votre soutien moral et vos encouragements ont été essentiels pour me donner la force de persévérer, même lorsque les obstacles semblaient insurmontables.

Je tiens à remercier mon cher binôme :

Mougafi Akram

Pour son travail et ses efforts inoubliables, et qui a partagé ce voyage avec moi,
merci binôme

Je tiens à remercier mes amis : Samir, Ghano, Houssam, Mourad, Malek, Mohamed, Moncef, Abdou, Riad et Alla. Votre collaboration, vos idées et votre camaraderie ont rendu cette expérience d'apprentissage encore plus enrichissante.

Je dédie ce projet aussi à mon frère RIAD. Prends soin de toi, mon cher frère. Je t'envoie mes vœux de bonheur, de succès et de santé depuis ici.

Que cette dédicace reflète ma profonde gratitude et ma reconnaissance éternelle envers vous tous.

Avec toute ma sincérité,

KARIM

Dédicace

Je dédie ce projet :

A ma chère mère,
A mon cher père Mhamed,

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes frères, Zakaria et Anes

Pour ses soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

A mon cher binôme, E. Abdelkarim,

Pour son entente et sa sympathie et Pour leurs indéfectibles soutiens et leurs patiences infinies.

A mes chères amies, Housseem et amine et bouelam et Mourad et Malek et Samir et ghano et Moncef et Mohamed et Hichem et Redouan et djawad

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A toute ma famille,
A tous mes autres ami(e)s,

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Mougafi Akram

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I :	2
I-1) Introduction	3
I-1-1) Recherche bibliographique :	3
I-2) Le gisement solaire :	5
I-2-1) Le soleil :	5
I-2-2) Structure du soleil :	6
I-2-3) Caractéristiques du soleil :	7
I-2-4) Types d'exploitation de l'énergie solaire :	7
I-2-5) Position du soleil :	8
I-2-6) La hauteur du soleil :	9
I-2-7) L'azimut du soleil :	9
I-2-8) Le mouvement terre-soleil :	9
I-2-9) Le rayonnement solaire :	10
I-2-10) Effet de serre :	13
I-3) Les capteurs solaires :	15
I-3-1) Capteur solaire plan :	15
I-4) Capteurs solaire à air :	19
I-4-1) Les divers éléments du capteur solaire a air :	19
I-5) Les différentes applications des capteurs solaires :	20
I-5-1) Chauffages des bâtiments :	20
I-5-2) Séchage :	21
I-6) L'inertie thermique :	21
I-7) Le stockage de l'énergie :	22
I-7-1) Les Différents techniques de stockage d'énergie :	22
I-8) Conclusion :	28
Chapitre II :	29
II-1) Introduction :	30
II-2) Les buts recherchés par cette réalisation :	30
II-3) Avantages et inconvénients du capteur :	30
II-3-1) : Avantages :	30
II-3-2) : Inconvénients :	30
II-4) Réalisation d'un capteur solaire à air :	31
II-4-1) Le boitier :	31
II-4-2) Plaque transparente :	32

II-4-3) L'isolant :	33
II-4-4) Les pierres de galets absorbants :	34
II-4-5) Ventilateurs :	35
II-5) Caractéristique du capteur :	37
II-6) Fabrication du capteur :	38
II-7) Estimation du cout du capteur :	39
II-8) Conclusion :	40
Chapitre III :	41
III-1) Introduction	42
III-2) Description du capteur solaire plan :	42
III-2-1) Caractéristiques de site Blida :	42
III-3) Paramètres de mesure :	42
III-4) Les instruments de mesures utilisées lors des tests du capteur :	43
III-4-1) Mesure de la température :	44
III-4-2) Mesure de l'éclairement global (pyranometre) :	46
III-4-3) Acquisition de donné :	47
III-4-4) Mesure de débit d'air.....	48
III-5) Le support du capteur :	49
III-6) Condition à respecter avant d'entamer les tests :	49
III-7) Description du banc d'essai :	49
III-8) Disposition des thermocouples dans le capteur solaire	50
III-9) Conclusion :	52
Chapitre IV :	53
IV-1) Introduction :	54
IV-2) Cas de convection naturelle :	54
IV-3) Cas Convection forcée :	58
IV-3-1) Premier débit	58
IV-3-2) Deuxième débit :	62
IV-3-3) troisième débit :	67
IV-4) Rendement instantané :	70
IV-5) Conclusion :	72
Conclusion générale	73
Bibliographie.....	74

Liste des figures

Figure (I- 1) : Structure du soleil	4
Figure (I- 2) : position du soleil.....	6
Figure (I- 3) : plan de l’horizon.....	7
Figure (I- 4) : mouvement terre-soleil.....	8
Figure (I- 5) : composants du rayonnement solaire.....	9
Figure (I- 6) : rayonnement solaire au sol.....	10
Figure (I- 7) : Effet de serre.....	11
Figure (I- 8) : effet de serre.....	12
Figure (I- 9) : Capteur à tube sous vide.....	14
Figure (I- 10) : Capteur paraboliques.....	14
Figure (I- 11) : Capteur cylindro-parabolique.....	15
Figure (I- 12) : Les héliostats d’une centrale solaire thermique.....	16
Figure (I- 13) : Cuiseur solaire.....	16
Figure (I- 14) : Schéma d’un capteur solaire à air.....	17
Figure (I- 15) : chauffage d’un local.....	19
Figure (I- 16) : schéma du séchage.....	19
Figure (I- 17) : Batteries lithium-ion et plomb acide.....	21
Figure (I- 18) : Station de transfert d’énergie par pompage.....	21
Figure (I- 19) : Système de stockage d’énergie par changement de phase.....	22
Figure (I- 20) : schéma d’un chauffe- eau solaire.....	23
Figure (I- 21) : les galets.....	24
Figure (I- 22) : Schéma d’installation du système de stockage par air comprimé.....	25
Figure (I- 23) : schéma du volant d’inertie.....	25
Figure (II- 1) : Le boîtier en bois rouge.....	31
Figure (II- 2) : deux plaques transparentes en verre	32
Figure (II- 3) : l’isolation	33
Figure (II- 4) : Les pierres utilisées	34
Figure (II- 5) : les pierres ont été peintes avec une couleur noir	35
Figure (II- 6) : le ventilateur.....	36
Figure (II- 7) : photo représente le capteur solaire réalisé fini.....	38
Figure (III- 1) : photo d’un thermocouple type k.....	44
Figure (III- 2) : Le dispositif d’étalonnage des thermocouples.....	45
Figure (III- 3) : photo d’un pyranometre.....	47

Figure (III- 4) : photo de l'acquisition.....	47
Figure (III- 5) : photo de l'acquisition avec un enregistreur de données.....	48
Figure (III- 6) : photo de l'anémomètre.....	48
Figure (III- 7): Présentation du système expérimentale.....	50
Figure (III- 8): photo représenté le capteur réalisé.....	51
Figure (IV-1) : la variation de l'éclairement globale.....	54
Figure (IV-2) : La variation de température Entre les deux pierres sur le premier niveau.....	55
Figure (IV-3) : La variation de température Entre les deux pierres sur le deuxième niveau.....	55
Figure (IV-4) : La variation de température entre les deux pierres sur le troisième niveau.....	56
Figure (IV-5) : La variation de température des pierres entre les trois niveaux.....	56
Figure (IV-6) : La variation de température à l'entreeur de capteur.....	57
Figure (IV-7) : variation de la température d'entrée et sortie de capteur.....	58
Figure (IV-8) : la variation de l'éclairement globale.....	59
Figure (IV-9) : La variation de température Entre les deux pierres sur le premier niveau.....	59
Figure (IV-10) : La variation de température Entre les deux pierres sur le deuxième niveau.....	60
Figure (IV-11) : La variation de température entre les deux pierres sur le troisième niveau.....	60
Figure (IV-12) : La variation de température des pierres entre les trois niveaux.....	61
Figure (IV-13) : La variation de température à l'entreeur de capteur.....	61
Figure (IV-14) : variation de la température d'entrée et sortie de capteur.....	62
Figure (IV-15) : la variation de l'éclairement globale.....	63
Figure (IV-16) : La variation de température Entre les deux pierres sur le premier niveau.....	63
Figure (IV-17) : La variation de température Entre les deux pierres sur le deuxième niveau.....	65
Figure (IV-18) : La variation de température entre les deux pierres sur le troisième niveau.....	66
Figure (IV-19) : La variation de température des pierres entre les trois niveaux.....	65
Figure (IV-20) : La variation de température à l'entreeur de capteur.....	65
Figure (IV-21) : variation de la température d'entrée et sortie de capteur.....	66
Figure (IV-22) : la variation de l'éclairement globale.....	67
Figure (IV-23) : La variation de température Entre les deux pierres sur le premier niveau.....	67
Figure (IV-24) : La variation de température Entre les deux pierres sur le deuxième niveau.....	68
Figure (IV-25) : La variation de température entre les deux pierres sur le troisième niveau.....	68
Figure (IV-26) : La variation de température des pierres entre les trois niveaux.....	69
Figure (IV-27) : La variation de température à l'entreeur de capteur.....	69
Figure (IV-28) : variation de la température d'entrée et sortie de capteur.....	70
Figure (IV-29) : variation du rendement instantané.....	71

Liste des Tableaux

Tableau (I-1) : caractéristique du soleil.....	5
Tableau (I-2) : quelques propriétés des matériaux de stockage de chaleur sensible.....	24
Tableau (II-1) : Dimensions du boîtier.....	32
Tableau (II-2) : Dimension de la vitre.....	33
Tableau (II-3) : caractéristique du capteur.....	37
Tableau (II-4) : les différents matériaux acheté.....	39
Tableau (III-1) : Caractéristique des différents instruments de mesures.....	43
Tableau (III-2) : étalonnages des thermocouples.....	46

Nomenclature et lettres grecques :

notation	unités
TSV : Temps solaire vrai	Heur
TL : Temps légal	Heur
ET : Equation du temps	minute
h : Hauteur du soleil	degré
L_{ref} : la longitude de référence	degré
L_{Lieu} : la longitude du lieu	degré
Az : azimut du soleil	degré
T_1 : thermocouple 1	C°
T_2 : thermocouple 2	C°
T_3 : thermocouple 3	C°
T_4 : thermocouple 4	C°
T_5 : thermocouple 5	C°
T_6 : thermocouple 6	C°
T_7 : thermocouple 7	C°
T_8 : thermocouple 8	C°
T_9 : thermocouple 9	C°
ω : Angle horaire	Degré
a : Azimut du soleil	Degré
δ : Déclinaison solaire	Degré
Φ : Latitude du lieu	Degré
ID : rayonnement diffus	w/m ²
B : l'angle d'inclinaison du capteur	Degré
P : albédo du sol	/
Id : rayonnement direct	w/m ²
Ih : rayonnement direct sur plan horizontal	w/m ²
IG : rayonnement global	w/m ²
Ac : la surface du capteur	m ²
Cp : chaleur spécifique	J/kg.k
\dot{m} : le débit massique	Kg/s
Te : température d'entrée	C°
Ts : température de sortie	C°
η : le rendement instantané	/

Résumé :

Le but de ce travail est l'étude et la réalisation d'un capteur solaire à air

Auto-stockeur. En Utilisant des galets comme matériau de stockage thermique solide. Le système combine l'énergie solaire avec la capacité des pierres à stocker et à libérer la chaleur de manière efficace. L'objectif était de démontrer la faisabilité et les performances de ce dispositif dans la production d'énergie thermique.

Cette étude permet de décrire les avantages d'un capteur solaire à air auto-stockeur. de plus ce capteur a une durée de fonctionnement supérieur à un capteur a air classique

La méthodologie de construction est détaillée, y compris les techniques d'assemblage et les spécifications des pierres de galets utilisées. Des tests ont été effectués pour évaluer les performances du système.

Mots clés : capteur solaire à air, inertie thermique, éclairage solaire global, gisement solaire,

Abstract:

The purpose of this work is to design and experiment with a self-storage air solar collector using pebble stones as a thermal storage material. The system combines solar energy with the ability of pebble stones to efficiently store and release heat. The objective was to demonstrate the feasibility and performance of this device in thermal energy production.

This study demonstrates the advantages of a self-storing solar air collector. Moreover, this sensor has a longer operating time than a conventional air sensor

The construction methodology is detailed, including assembly techniques and specifications of the pebble stones used. Tests were performed to assess system performance.

Keywords: solar air collector, thermal inertia, global solar irradiance, solar deposit

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو تنفيذ واختبار جهاز استشعار شمسي لتخزين الهواء الذاتي، باستخدام حصى الصوان كمادة تخزين حراري. يجمع النظام بين الطاقة الشمسية وقدرة حصى الصوان على تخزين وإطلاق الحرارة بكفاءة. كان الهدف هو إظهار جدوى وأداء هذا الجهاز في إنتاج الطاقة الحرارية.

توضح هذه الدراسة مزايا جهاز تجميع الهواء الشمسي ذاتي التخزين. علاوة على ذلك يتمتع هذا المستشعر بوقت تشغيل أطول من مستشعر الهواء التقليدي.

تتم تفصيل منهجية البناء، بما في ذلك تقنيات التجميع ومواصفات حصى الصوان المستخدمة. تم إجراء اختبارات وتحقيق لتقييم أداء النظام

الكلمات الرئيسية: جامع الهواء الشمسي، القصور الذاتي الحراري، الإشعاع الشمسي العالمي، الرواسب الشمسية،

Introduction générale

L'énergie solaire est une source d'énergie propre et renouvelable qui suscite un intérêt croissant dans le contexte de la transition énergétique mondiale. Parmi les différentes technologies utilisées pour exploiter cette précieuse ressource, les capteurs solaires à air se démarquent en tant que solution prometteuse pour la production d'énergie thermique. Ces dispositifs convertissent directement l'énergie solaire en chaleur.

Les capteurs solaires à air sont devenus une solution prometteuse pour exploiter l'énergie solaire et la convertir en une forme utile de chaleur. Avec l'augmentation croissante de la demande en énergie et la prise de conscience accrue de la nécessité de sources d'énergie renouvelables, l'utilisation de capteurs solaires à air gagne en popularité dans le domaine de la production d'énergie thermique.

Tout d'abord, nous aborderons les fondements de l'énergie solaire et son potentiel en tant que source d'énergie renouvelable. Nous discuterons ensuite des principes de fonctionnement des capteurs solaires à air auto-stockeurs, en mettant l'accent sur les composants clés tels que les collecteurs solaires, les matériaux de stockage thermique et les échangeurs de chaleur. Nous examinerons également les différentes configurations et les technologies utilisées dans ces systèmes.

Dans cette étude de réalisation, nous décrivons en détail la conception, la construction et les caractéristiques de notre capteur solaire à air auto-stockeur utilisant des galets. Nous expliquerons les principes de fonctionnement de ce système et discuterons des choix de conception que nous avons effectués pour optimiser son efficacité et sa capacité de stockage thermique.

Ensuite, nous présenterons les résultats de notre réalisation, en fournissant des données sur l'efficacité thermique, la capacité de stockage, le temps de récupération de chaleur et d'autres paramètres clés.

Ce travail est composé de plusieurs chapitres qui couvrent différents aspects du capteur solaire à air auto-stockeur.

Dans le premier chapitre de cette étude aborde les aspects généraux des capteurs solaires plans à air, ainsi qu'une revue bibliographique faisant référence aux travaux antérieurs réalisés dans ce domaine.

Le deuxième chapitre est consacré à la conception et à la réalisation de notre capteur, en mettant en avant les différents matériaux utilisés ainsi que la méthode de conception choisie.

Le troisième chapitre se concentre sur la partie expérimentale, où nous avons utilisé des instruments de mesure et des techniques de mesure spécifiques, tout en prenant en compte plusieurs normes de référence.

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 les performances du capteur solaire à air auto-stockeur, ainsi que quelques suggestions pouvant contribuer à son amélioration future.

Chapitre I :
Généralités sur le Gisement solaire et
les capteurs solaires

I-1) Introduction

Le gisement solaire et les capteurs à air sont deux termes très importants qui ont le potentiel de révolutionner la production d'énergie et de contribuer à la lutte contre le changement climatique.

Le gisement solaire, également connu sous le nom de potentiel solaire, est une mesure de la quantité d'énergie solaire disponible dans une région donnée. Il représente l'abondance et la disponibilité du rayonnement solaire qui peut être utilisé pour la production d'énergie. Comprendre le gisement solaire est essentiel pour évaluer le potentiel d'utilisation de l'énergie solaire dans une zone spécifique et pour concevoir des systèmes solaires efficaces

Alors que Les capteurs solaires à air sont des dispositifs innovants qui utilisent l'énergie solaire pour chauffer et ventiler l'air de manière efficace et écologique. En exploitant les propriétés du rayonnement solaire, ces capteurs permettent de convertir la chaleur solaire en une source d'énergie thermique utilisable dans diverses applications domestiques, commerciales et industrielles.

Ensembles, ces deux technologies offrent des solutions durables et respectueuses de l'environnement pour les besoins énergétiques de la société.

Dans ce chapitre, nous explorerons en détail le concept de gisement solaire, en examinant les facteurs qui influencent son estimation, les méthodes de mesure et les outils utilisés, ainsi que son importance dans la conception et l'évaluation des systèmes solaires, et nous examinerons de manière détaillée les capteurs solaires à air, en explorant leur fonctionnement, leurs composants, leurs applications et leurs avantages. Nous discuterons aussi les différents types de capteurs solaires à air.

I-1-1) Recherche bibliographique :

De nombreuses études, à la fois numériques et expérimentales, ont été réalisées pour comprendre la circulation de l'air et les transferts de chaleur dans les capteurs solaires à air. Les résultats de ces études ont permis d'établir plusieurs règles et critères importants. Parmi les études et recherches réalisées, on peut citer les suivantes :

1/ F. Mokhtari et D. Semmar . Revue. Energie. Renouvelable au CDER Bouzaréah, Alger 1999 : Etude Expérimentale d'un Capteur Solaire à Air :

Cette étude commence par exposer les résultats des essais réalisés sur le capteur solaire à air, ainsi que la méthode utilisée pour concevoir le prototype expérimental en se basant sur les modèles classiques des capteurs à air.

2/ F. Mokhtari , D. Semmar et A. Hamid , Revue. Energie. Renouvelable à l'Université de Saad Dahleb de Blida 2003 : Etude de la Variation de la Température de la Plaque Absorbante pour Différents Capteurs Solaires à Air :

Cette étude se concentre sur l'analyse de trois configurations de capteurs solaires à air. En mesurant les températures de l'absorbeur et du fluide de sortie dans les trois capteurs, dans les modes de circulation naturelle et forcée, nous avons pu identifier la configuration de plaque absorbante la plus performante parmi les trois. Cette découverte est d'une grande importance pour diverses applications dans le domaine de l'énergie solaire.

3/ Mr S.Makhlouf. réalisé par DJADOUR Ahmed BOUSSADIA Ahmed 2015/2016. Etude et réalisation d'un capteur solaire thermique à air :

L'objectif de cette étude est de réaliser Un capteur écologique innovant est créé en utilisant des matériaux couramment disponibles, récupérés, façonnés et assemblés. Ce capteur a des objectifs différents de ceux obtenus lors des essais de température.

4/ D. Semmar , S. Betrouni et D. Lafri ,Revue. Energie. Renouvelable au CDER Bouzaréah, Alger 1998 : Etude et Réalisation d'un Capteur Solaire à Air :

L'objectif de cette étude est de développer un capteur solaire à air pour produire de l'air chaud. Pour cela, nous avons utilisé une approche théorique en simulant le comportement du capteur à l'aide d'un programme informatique qui utilise un modèle mathématique. Ce modèle évalue instantanément tous les paramètres qui influencent les performances du système pendant les périodes ensoleillées. En parallèle, nous avons également réalisé une partie expérimentale pour construire le modèle envisagé. Enfin, nous interprétons les résultats obtenus afin de valider le modèle utilisé.

5 / S. Oudjedi1 , A. Boubghal1 , W. Braham Chaouch1 , T. Chergui1 et A. Belhamri2 1 Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien B.P. 478, Route de Reggane, Adrar, Algérie 2 Département de Génie Climatique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie , Etude théorique et expérimentale d'un capteur solaire à air destiné au séchage

Le travail consiste à examiner de manière théorique et expérimentale un capteur solaire à air à simple passage, qui utilise la convection forcée entre l'absorbeur et la vitre pour le séchage des produits agroalimentaires. La modélisation mathématique du système utilise une méthode globale basée sur l'analyse de Hottel, Whillier et Bliss. En effectuant des simulations numériques, nous avons pu déterminer les profils de température de l'absorbeur et de l'air à la sortie du capteur. Dans la phase expérimentale, nous avons construit et testé un capteur solaire à air à circulation unique fonctionnant grâce à la convection forcée à l'Unité de Recherche en Énergies Renouvelables en Milieu Saharien (U.R.E.R/M.S) d'Adrar. Les températures mesurées de l'absorbeur et de l'air à la sortie du capteur ont été utilisées pour ajuster notre modèle mathématique.

6 /A. Zerrouki, B. Tedjiza et N. Said [21], Revue. Energie. Renouvelable au CDER Bouzaréah, Alger 2002 : Modélisation des Pertes Thermiques dans un Capteur Solaire à Air à deux Passes :

L'objectif de cette étude est de développer un modèle mathématique pour un capteur solaire à air conventionnel à deux passes, où l'air circule de chaque côté de l'absorbeur. L'objectif est d'analyser et de calculer le bilan thermique de différentes parties du capteur, y compris la couverture transparente, l'absorbeur et l'isolation thermique arrière. Cette analyse est effectuée dans le cas où le capteur se trouve dans un état où les conditions de BLISS sont respectées.

7/ Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent, institut de Technologie,

Amélioration des performances thermique d'un capteur solaire plan à air :

L'objectif de cette étude consiste à améliorer les performances d'un capteur solaire plan à air en intégrant des irrégularités rectangulaires dans l'isolant et l'absorbeur. Une analyse numérique a été réalisée en utilisant le logiciel de calcul "fluent" afin d'étudier le comportement thermique et dynamique de l'écoulement d'air. Différents scénarios de capteurs solaires à air ont été comparés, incluant des chicanes sans rugosité, des rugosités intégrées dans l'isolant, ainsi que des rugosités intégrées dans l'absorbeur.

8/ Département de Génie Mécanique, Faculté de Technologie, université Abou bakr Belkaid, B.P. 119, Tlemcen, Algérie, K. Aliane et M.A. Amraoui 2013 :

L'un des problèmes majeurs liés à l'utilisation de l'énergie solaire concerne les échanges thermiques limités entre le fluide de transfert de chaleur et l'absorbeur du capteur solaire. Cependant, en introduisant des obstacles sous forme de chicanes disposées en rangées à l'intérieur des conduits de ces systèmes, les transferts thermiques peuvent être considérablement améliorés. Cette étude se concentre sur l'impact des rugosités présentes dans l'isolant, dans le but d'augmenter les échanges thermiques à l'intérieur du capteur. Une analyse numérique basée sur la méthode des volumes finis est réalisée pour examiner le comportement dynamique et thermique de l'écoulement d'air dans un capteur solaire plan équipé de chicanes, tant avec des rugosités rectangulaires qu'en leur absence.

9/ K.Saidi, thèse « étude et réalisation d'un capteur solaire plan a air a absorbeur Ondulé» :

Le but de cette étude consiste à examiner les performances d'un capteur à air doté d'une plaque absorbante ondulée. Pour valider ce modèle, une comparaison a été effectuée entre les résultats théoriques et expérimentaux à l'aide d'un logiciel informatique.

I-2) Le gisement solaire :

I-2-1) Le soleil :

Le soleil, cette étoile massive qui joue un rôle très important pour notre système solaire et pour nous sur terre. La température énorme de 15000000C° combinée avec la gravité du soleil permet de faire une fusion entre les molécules d'hydrogènes pour créer l'Hélium, ce processus est appelé fusion thermonucléaire. [1]

Une énergie énorme est libérée afin de cette fusion, sous forme de :

- Rayonnement
- Electricité
- Vent solaire
- Chaleur et lumière vitale

L'âge estimé du soleil est environ 4.5 milliards d'années dans le bras d'Orion qui est située dans la voie lactée.

Il est formé à cause d'un effondrement de la nébuleuse solaire, et lors de cette formation, la matière qui avait été condensée, devenu notre solaire

Elle est située à environ 150 millions de kilomètres de la terre. On la voit sur terre comme un petit disque homogène brillant, mais en réalité, son rayon est plus grand que celui de la terre à environ 109 fois, et 333 000 fois la masse de la terre.

La lumière du soleil prend environ 8 secondes pour arriver à notre planète. [2]

I-2-2) Structure du soleil :

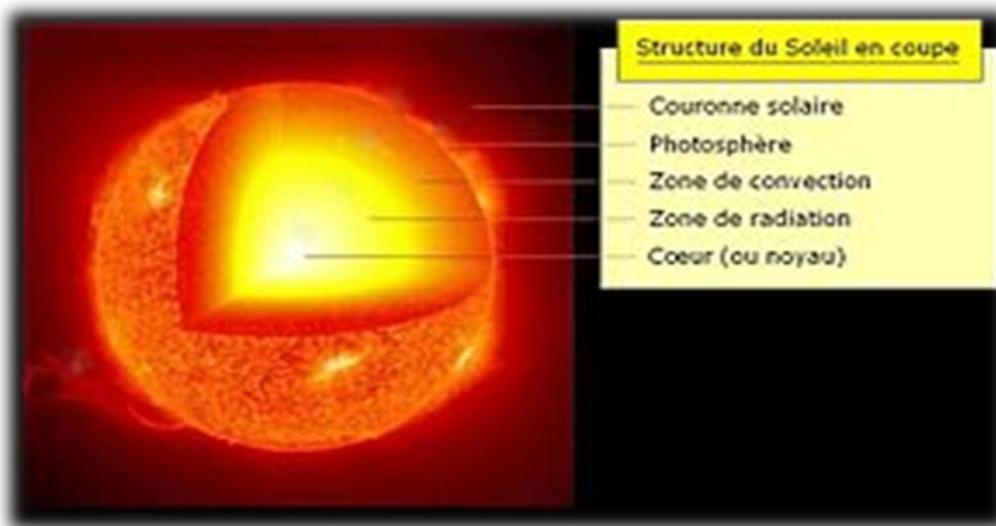


Figure (I- 1) : Structure du soleil

La composition du soleil est montrée dans la figure (I-1). On cite les éléments suivants :

La couronne, photosphère, le noyau, chromosphère [3]

Le noyau : A la couche de noyau du Soleil, le solaire a déclaré qu'une recherche de fusion nucléaire. Une haute-pression nécessaire pour la nucléaire se produit. Cependant, l'énergie a été déclarée par un plasma de gaz qui apparaît en gestion de la pression, en 15 millions de degrés Celsius.

La couronne : elle a une température environ un million de degrés C°, et sa largeur d'un million de kilomètres, la couronne est la couche externe du soleil

Photosphère : la première des couches externes, dans la photosphère se forment des taches solaires avec une température plus basse, et ça explique leurs couleurs sombres sur la surface solaire. La largeur de la photosphère est environ 400 kilomètres, et sa température entre 4500 et 7500 kelvins. [4]

Chromosphère : La chromosphère proprement dite est épaisse d'environ 2000 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. [5]

I-2-3) Caractéristiques du soleil :

Caractéristique	Valeur
La masse	1.989.10³⁰ Kg
Diamètre	1.392.10⁹ m
Masse volumique moyenne	1410 kg /m³
Puissance rayonnée	3.83.10²⁶ w
Température superficielle	5770°k
Vitesse de déplacement	2160 km.s⁻¹

Tableau (I-1) : caractéristique du soleil [6]

I-2-4) Types d'exploitation de l'énergie solaire :

On site les différents types de l'exploitation de l'énergie solaire

I-2-4-1) Solaire photovoltaïque : L'énergie solaire photovoltaïque est obtenue par l'énergie des rayonnements du soleil. Plus précisément, le principe est de transformer l'énergie portée par les photons dans la lumière, en électricité. C'est la raison pour laquelle les panneaux photovoltaïques qui vont les récolter, se trouvent souvent installés sur les toits, avec la meilleure orientation possible.

C'est là que rentre en jeu la cellule photovoltaïque. Fabriquée en silicium, lorsqu'elle est exposée à la lumière, elle absorbe l'énergie des photons lumineux.

I-2-4-2) Solaire thermique : Les panneaux solaires thermiques contiennent des fluides caloporteurs. Une fois qu'ils sont chauffés par le soleil, les fluides commencent à chauffer le ballon d'eau chaude. L'énergie solaire thermique sert aussi bien pour alimenter :

- Un chauffage solaire.
- Un chauffe-eau.
- Une cuisinière.

Elle ne produit pas d'électricité mais bien de la chaleur. Elle peut être utile dans certains usages industriels pour remplacer une partie des usages d'énergie fossile.

I-2-4-3) Solaire thermodynamique : L'énergie solaire thermodynamique est produite via des centrales solaires à concentration. Il s'agit d'un assemblage de miroirs contenant des fluides caloporteurs, couplés à un générateur d'électricité solaire.

À l'image des panneaux solaires thermiques, ce sont les miroirs qui transforment l'énergie collectée par les rayons du soleil, en chaleur. Cette chaleur a une température très élevée. Bien supérieure à la température à laquelle elle a été collectée. Elle peut aller de 250 à 800 degrés selon la technique employée.

Cette chaleur sera convertie en électricité au moyen d'une turbine et d'un alternateur comme dans une centrale thermique.

Figure (I-2) : position du soleil

c- Les coordonnées horizontales :

Se repère est formée par le plan de l'horizon avec la verticale du lieu.

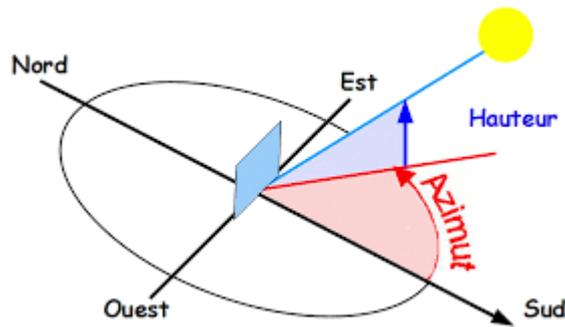


Figure (I-3) : plan de l'horizon

I-2-6) La hauteur du soleil :

La hauteur du soleil est l'angle formée par la direction du soleil avec sa projection sur le plan horizontal, il vaut 0 ° au lever et coucher du soleil et 90 ° au midi solaire.

La formule est :

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

I-2-7) L'azimut du soleil :

C'est l'angle mesuré entre le point cardinal sud ou nord et la projection sur le plan horizontal local de la trajectoire qui relie la terre et le soleil

La formule est :

$$\sin a = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos h} \quad (\text{I-4})$$

I-2-8) Le mouvement terre-soleil :

La course de la Terre autour du Soleil décrit une ellipse légèrement aplatie. La Terre effectue un tour complet sur elle-même en 24 heures autour de l'axe des pôles. Cet axe nord – sud fait

un angle de $23^{\circ}27'$ avec la direction perpendiculaire au plan de l'orbite terrestre autour du Soleil. [7]

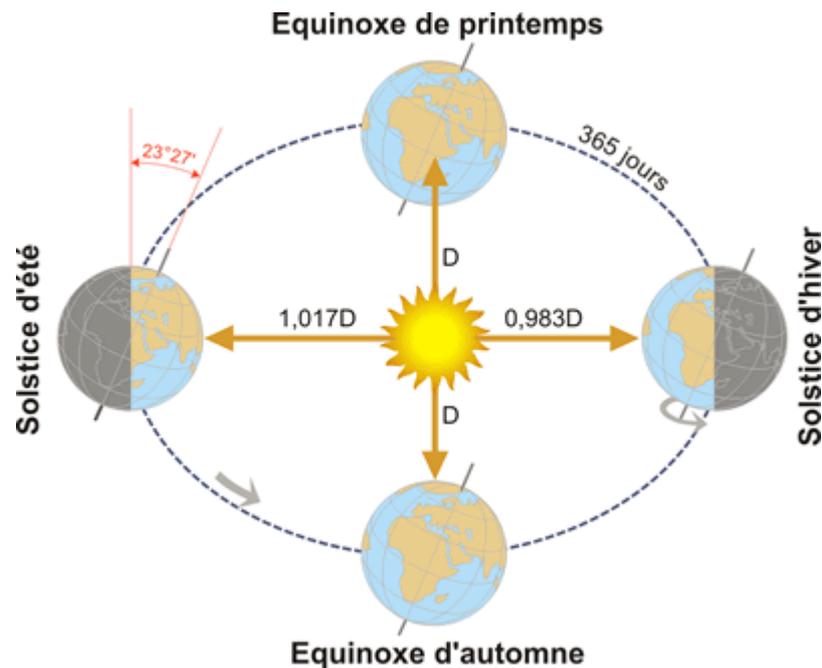


Figure (I-4) : mouvement terre-soleil

I-2-9) Le rayonnement solaire :

On peut dire que le soleil est un grand réacteur nucléaire à cause de ces interactions, l'atome de l'hydrogène se produit en interne du soleil et les réactions de fusion sont responsables de la température du soleil et de son maintien.

L'énergie qui en résulte est envoyée hors du soleil sous forme de d'ondes électromagnétiques ce qu'on appelle rayonnement [8]

I-2-9-1) Composants 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 (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-delà 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 (l'ultraviolet). [9]

I-2-9-2) Rayonnement absorbé par des molécules atmosphériques :

Au cours de leur pénétration dans l'atmosphère, les photons solaires entrent en collision avec les molécules atmosphériques et sont progressivement absorbés. L'absorption du rayonnement par les molécules atmosphériques est intimement liée à leurs caractéristiques énergétiques.

Une molécule possède des niveaux énergétiques discrets ou quantifiés associés à des états de rotation, de vibration ou de configuration électronique. Un photon peut être absorbé lorsque son énergie correspond à une transition entre le niveau fondamental et un de ces états excités.

D'autre part, une molécule peut être dissociée par des photons dépassant l'énergie d'ionisation de la molécule. Il y a alors un continuum énergétique d'absorption au-delà de l'énergie d'ionisation.

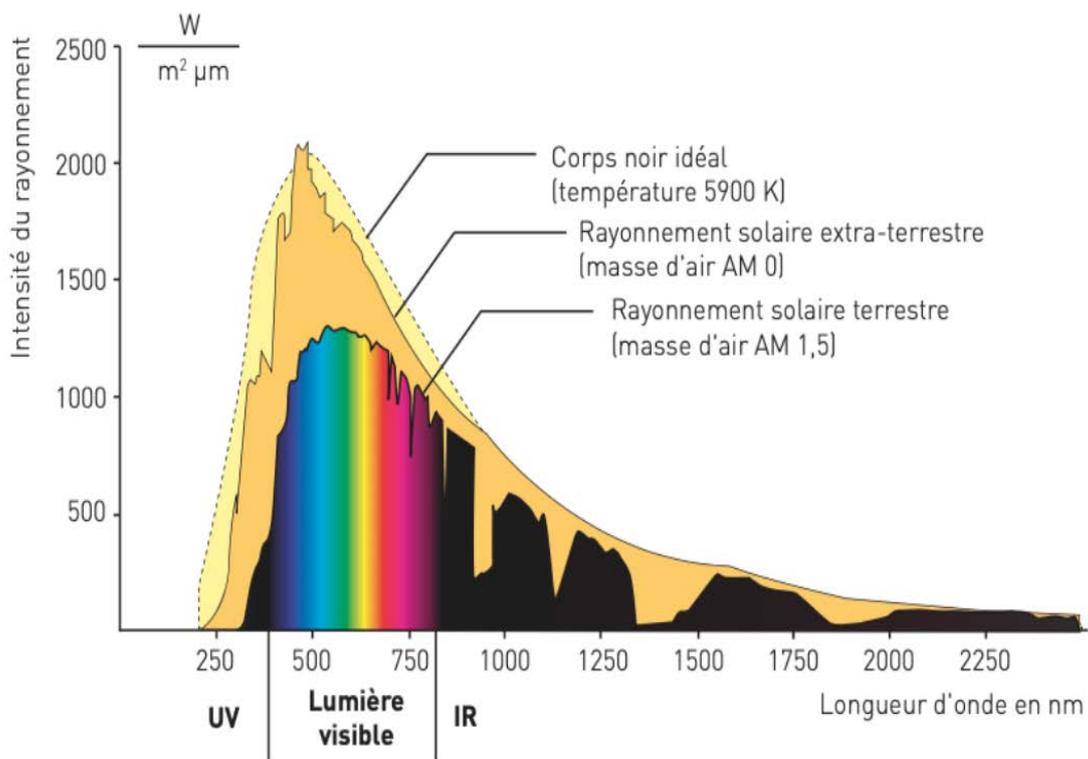


Figure (I-5) : composants du rayonnement solaire

I-2-9-3) Rayonnement solaire arrivant au sol :

Le rayonnement solaire arrivant au sol a au moins deux composantes : une composante directe I et une composante diffuse D, le tout formant le rayonnement global G.

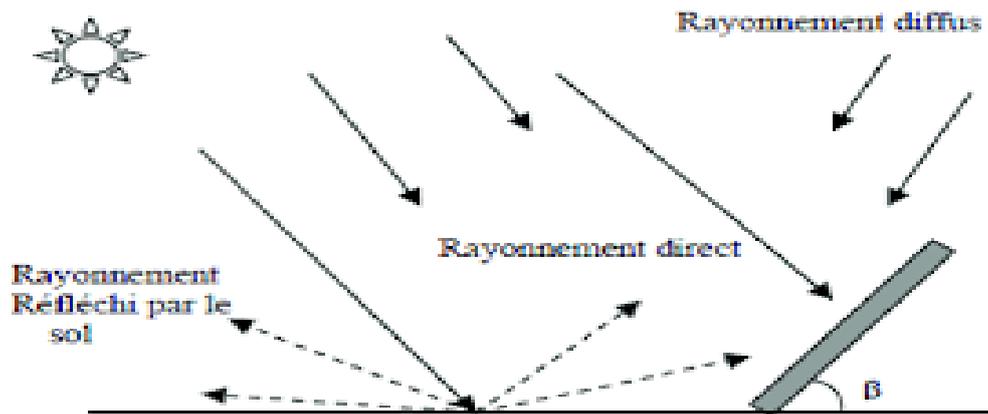


Figure (I-6) : rayonnement solaire au sol

A - Le rayonnement direct :

C'est la composante parvenant directement de l'angle solide délimité par le disque solaire.

C'est un rayonnement dont le parcours entre le soleil et la surface terrestre est direct. [10]

$$I_d = I_h \cdot \frac{\cos \theta}{\sin h} \quad (\text{I-5})$$

I_h : Rayonnement direct sur plan horizontale

B - Le rayonnement diffus :

Le rayonnement diffusé par les différents gaz constituant l'atmosphère, des rayons lumineux issus du Soleil traversent les nuages et se diffusent sur toute la surface de la Terre, il contribue à l'éclairage mais ne peut pas être concentré (à l'inverse du rayonnement direct).

$$ID = \frac{1+\cos\beta}{2} \cdot Dh + \frac{1-\cos\beta}{2} \cdot \rho \cdot Gh \quad (\text{I-6})$$

B : angle d'inclinaison du capteur

P : albédo du sol

C - Le rayonnement global :

On appelle rayonnement global le rayonnement solaire parvenant au niveau du sol sur une surface horizontale, soit directement, soit après diffusion. Il s'exprime simplement comme la somme du rayonnement diffus et du rayonnement direct.

$$G = I_d + ID \quad (\text{I-7})$$

I_d = Rayonnement direct

ID = Rayonnement diffus

I-2-10) Effet de serre :

L'effet de serre est un phénomène d'origine naturelle qui emprisonne une partie de la chaleur émise par le soleil dans l'atmosphère terrestre. Il est également amélioré par divers processus artificiels.

Sans l'effet de serre, la vie aurait été beaucoup plus difficile à développer. En effet, si ce phénomène n'existait pas, la température moyenne à la surface de la Terre serait d'environ 18°C. Heureusement, ce phénomène existe, ce qui signifie que la température moyenne de la terre est d'environ +15°C.

Le soleil émet de l'énergie rayonnante à travers l'atmosphère. Une partie de l'énergie est absorbée par la surface de la planète, tandis que le reste diffusé dans l'atmosphère. Les rayons absorbés par la terre et l'océan les réchauffent. La nuit, de l'énergie est émise par la surface de la planète sous forme de lumière infrarouge. Ces rayons voyagent ensuite vers l'atmosphère, où ils sont transportés dans l'espace ou absorbés par l'atmosphère. C'est ce qu'on appelle l'effet de serre naturel. [11]



Figure (I-7) : Effet de serre

Une partie du rayonnement solaire traverse l'atmosphère et atteint la surface de la Terre.

1. Une partie des rayons solaires est réfléchi vers l'espace par l'atmosphère, les nuages, etc.
2. La surface de la Terre absorbe l'énergie solaire et sa température augmente.
3. Une fois réchauffé, le sol émet des rayons infrarouges vers l'atmosphère.
4. Une partie des rayons infrarouges traverse l'atmosphère et se perd dans l'espace.
5. Une partie des rayons infrarouges est emprisonné dans l'atmosphère par les gaz à effet de serre, ce qui fait augmenter la température globale de la surface terrestre

I-2-10-1) Les principales gazes à effet de serre :

Les gaz à effet de serre sont des gaz naturellement présents dans l'atmosphère. Ils absorbent une partie du rayonnement solaire puis réapparaissent à la surface de la Terre. De ce fait, ils ont un rôle dans l'effet de serre.

Dans la situation typique, la concentration de GES dans l'atmosphère est maintenue presque constante par les échanges de matière et de gaz entre l'atmosphère, la biosphère et les océans. Par exemple, le cycle de l'eau et la respiration des plantes contribuent à l'entretien de l'environnement.

D'un équilibre entre gaz émis et absorbés. La concentration croissante de GES dans l'atmosphère, due aux activités humaines, est à l'origine du réchauffement climatique.

Les gaz responsables de l'effet de serre sont les suivants :

- la vapeur d'eau H₂O
- le dioxyde de carbone CO₂
- le méthane ch₄
- le protoxyde d'azote N₂O

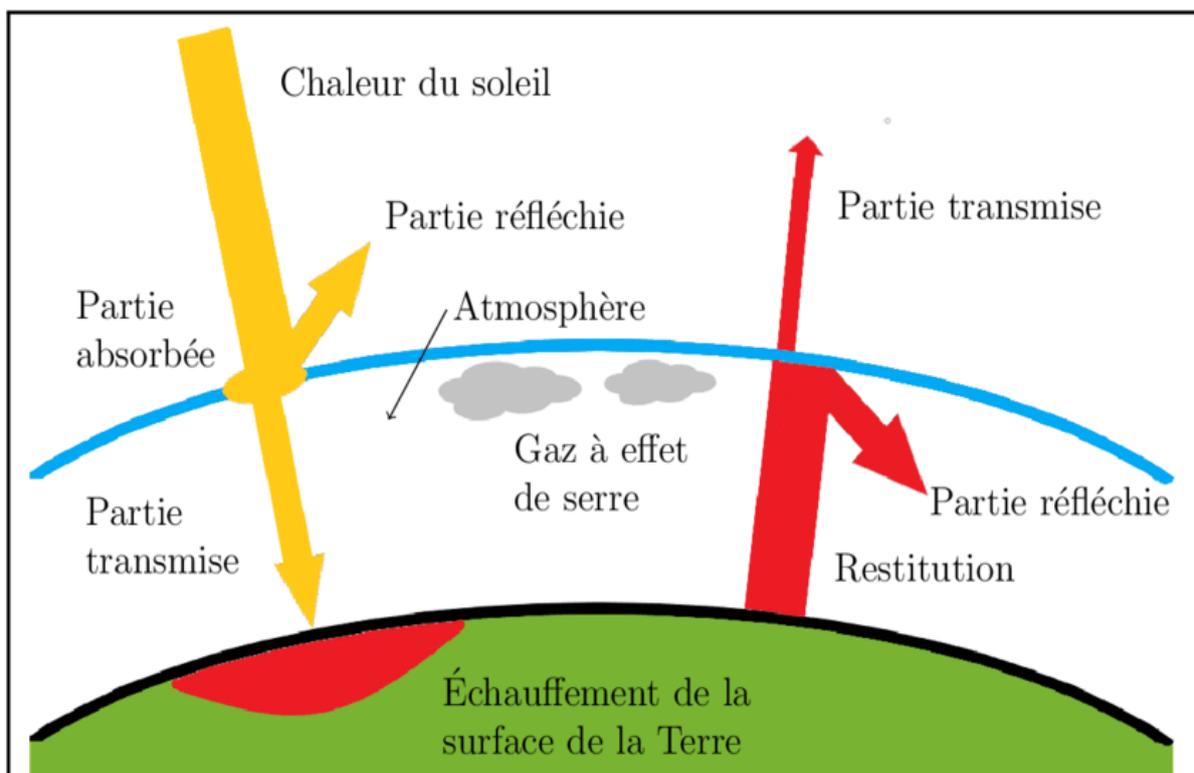


Figure (I-8) : effet de serre

I-3) Les capteurs solaires :

Un capteur solaire thermique est un dispositif conçu pour recueillir l'énergie solaire transmise par rayonnement et la transférer à un fluide caloporteur sous forme de chaleur. Cette énergie thermique peut ensuite être utilisée pour le chauffage de bâtiment, pour la production de l'eau chaude sanitaire ou encore dans divers procédés industriels [13]

Il existe différents types de capteurs solaires, chacun ayant ses propres caractéristiques et applications spécifiques.

I-3-1) Capteur solaire plan :

Trois fonctions sont remplies par ces capteurs, ils reçoivent le rayonnement solaire et le transforment en chaleur, puis transmettent cette chaleur à un fluide caloporteur. Pour maximiser la quantité de lumière solaire que vous pouvez absorber, vous n'avez besoin que d'une surface plane stratégiquement placée.

L'absorption de la lumière par la surface doit être la plus grande possible.

I-3-2) Capteur solaire plan vitré :

Le collecteur vitré plat continue d'être le collecteur le plus populaire.

Fonctionnement : une partie du rayonnement envoyé au vitrage le traverse pour atteindre l'absorbeur. Ce dernier s'échauffe et transfère la chaleur au fluide caloporteur qui circule dans les tubes. Semblable à tout autre corps qui se réchauffe, l'absorbeur produit un rayonnement

(Principalement dans l'infrarouge) qui est à la fois absorbé par le vitrage et réfléchi par le film posé sur l'isolant.

Le but de l'isolation est de réduire les déperditions de chaleur avec l'extérieur. En effet, le maximum d'énergie doit être transféré au fluide, c'est pourquoi il est important de réduire les pertes avec le milieu environnant.

I-3-3) Capteurs à tubes sous vide :

Ils sont constitués de tubes en verre sous vide contenant un absorbeur sélectif. Ils sont utilisés pour le chauffage de l'eau sanitaire et le chauffage des bâtiments, offrant une meilleure performance dans les climats froids.

Le but de ce type de capteur est de limiter les pertes de capteur à l'aide du vide.

I-3-3-1) Capteur de vapeur concentrée : avec un réflecteur parabolique qui est externe au tube et doit être nettoyé soit une à deux fois par an, soit interne, qui ne nécessite pas de nettoyage.

I-3-3-2) Capteur plan dans un capteur sous vide : l'absorbeur est directionnel afin de remédier aux désorientations.

-Un fluide est chauffé par le rayonnement solaire à travers un tube qui crée le vide. Le fluide peut entrer directement dans le tube ou il ne peut rester que dans le collecteur et un contact sec entre le fluide et la surface d'échange thermique assure le transfert de chaleur du fluide du tube vers le ballon de stockage (principe du caloduc). Cette dernière règle aura l'avantage de permettre le détachement aisé du tube sans nécessiter la vidange de l'installation.

Ils peuvent atteindre des températures élevées tout en produisant beaucoup de rendement.

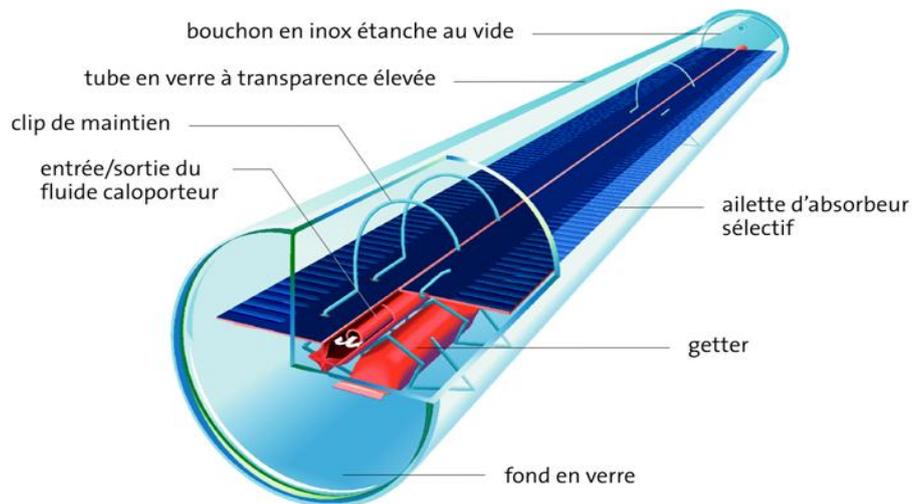


Figure (I-9) : Capteur à tube sous vide

I-3-4) Capteurs à concentration :

Ils utilisent des miroirs ou des lentilles pour concentrer le rayonnement solaire sur un absorbeur. Ils sont principalement utilisés dans les installations solaires à grande échelle pour la production d'électricité, ça veut dire que ce type de capteur présent des températures très élevées avec des rendements élevés. [12]

Ils nécessitent un système de suivi pour capter le rayonnement direct seulement.

I-3-4-1) Les capteurs paraboliques :

Ces capteurs solaires sont conçus sous la forme de concentrateurs ponctuels avec une symétrie parabolique. Les rayons solaires sont réfléchis par la parabole et convergent vers le foyer. Pour suivre le mouvement du soleil, les montures mobiles permettent d'orienter les concentrateurs autour de deux axes : une monture alt azimutale et une monture équatoriale. Cependant, la principale limitation de ce type de système réside dans la nécessité de déplacer la parabole selon ces deux axes. Les rendements de ces capteurs atteignent environ 75%, les installations ont une capacité de 1 à 100 kWh et les taux de concentration de 6000 à 10000 permettent d'obtenir des températures de travail allant de 600°C à 1200°C.

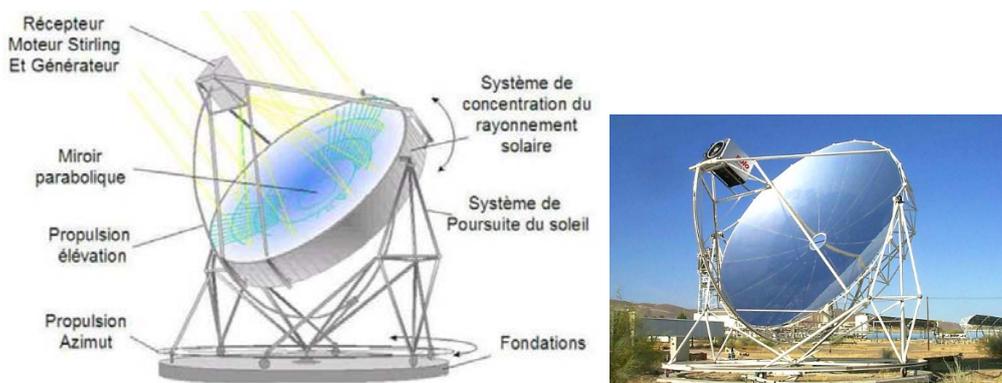


Figure (I-10) : Capteur paraboliques

I-3-4-2) les capteurs cylindro-paraboliques

La surface réfléchissante du concentrateur est un cylindre sphérique de forme parabolique. Lorsque l'orientation du soleil est favorable, ils dirigent la lumière directe du soleil sur une ligne focale perpendiculaire au récepteur. Le mécanisme de suivi du soleil est à axe unique. Les concentrateurs cylindro-paraboliques sont susceptibles d'être orientés selon l'axe Est-Ouest ou Nord-Sud. Les concentrateurs orientés selon l'axe nord-sud sont capables de collecter une plus grande quantité d'énergie pendant l'été. L'approche Est-Ouest facilite une meilleure récolte d'énergie. Les températures qui travaillent sur la gamme de 350 C° et l'efficacité de ces capteurs à convertir la chaleur en électricité est d'environ 70% à la vitesse nominale. En pratique, les angles ouverts sont inférieurs à 20-30°. C'est la technologie utilisée dans les centrales thermodynamiques.

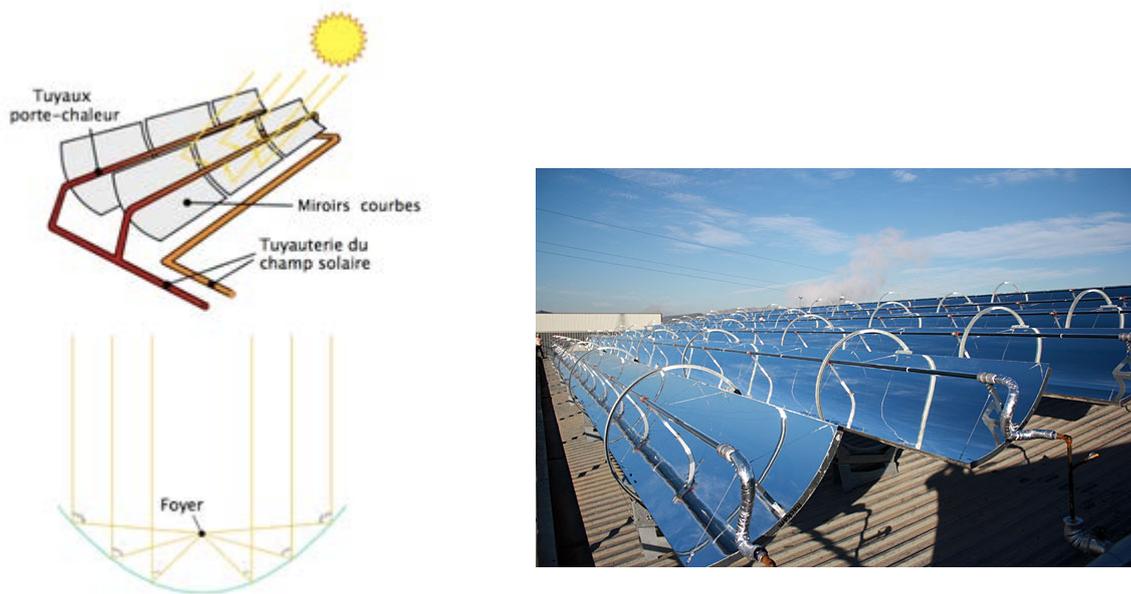


Figure (I-11) : Capteur cylindro-parabolique

I-3-4-3) Les héliostats :

Les héliostats ont un ou plusieurs miroirs plats ou présentant une légère concavité vers l'avant, ces miroirs vont de 50 m² à 150 m². Ils sont employés dans la création de structures à énergie solaire. Les miroirs sont soutenus par un système mécanique qui suit la course du soleil.



Figure (I-12) : Les héliostats d’une centrale solaire thermique

I-3-4-4) Four solaire (cuiseur) :

Le four solaire est un récipient thermiquement isolé, doté d'un couvercle transparent et de surfaces intérieures réfléchissantes. Les rayons solaires pénètrent à travers la vitre et se réfléchissent sur les parois de la boîte jusqu'à atteindre la surface sombre du récipient. L'énergie de ces rayons est alors convertie en chaleur, qui est emprisonnée à l'intérieur de la boîte. Afin d'augmenter la captation du flux solaire, deux oreillettes recouvertes d'aluminium sont fixées de chaque côté de la boîte, réfléchissant la lumière sur la vitre qui doit être alignée aussi perpendiculairement que possible aux rayons du soleil.

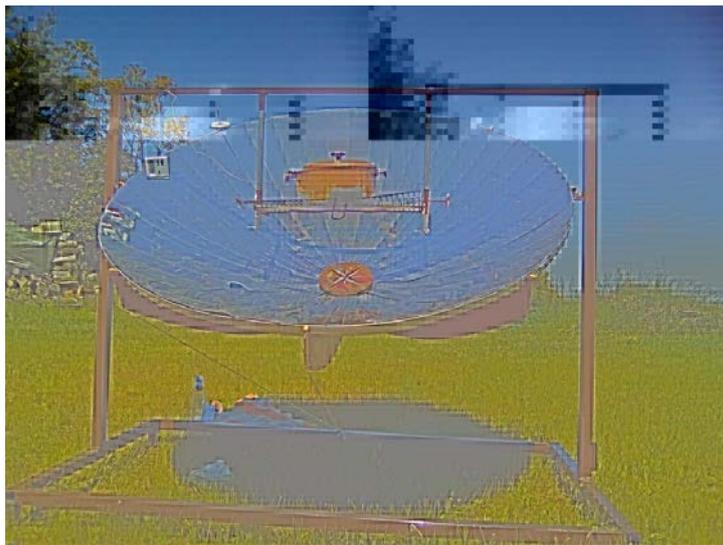


Figure (I-13) : Cuiseur solaire

I-4) Capteurs solaire à air :

Les capteurs solaires à air sont simplement des systèmes qui utilisent l'énergie solaire pour faire chauffer l'air. Ils sont souvent utilisés pour chauffer les espaces intérieurs, ou pour fournir de l'air chaud à des processus industriels, ils sont utilisés aussi pour le séchage des grains ou du bois

Le principe de fonctionnement consiste à transformer l'énergie solaire qui est rayonnement et éclairage à l'énergie calorifique qui est la chaleur. [13]

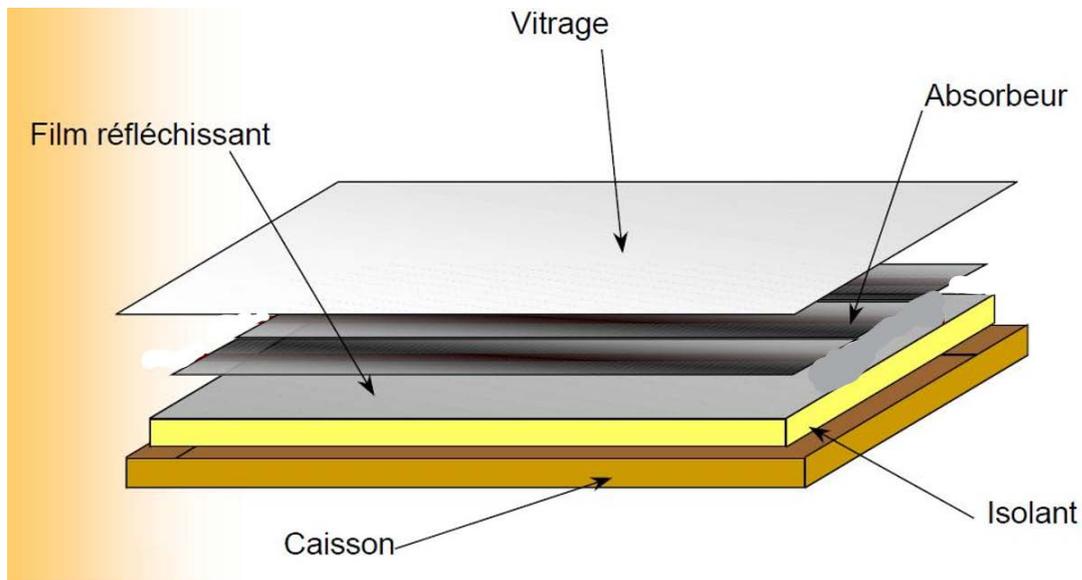


Figure (I-14) : Schéma d'un capteur solaire à air

I-4-1) Les divers éléments du capteur solaire a air :

Un collecteur solaire plat est principalement composé de quatre éléments constitutifs :

- Le cadre qui soutient l'organisation.
- Substance isolante.
- L'absorbeur
- Écran transparent.

a- Le cadre qui supporte la structure :

L'ossature portante du collecteur solaire plat est généralement composée d'un caisson en acier inoxydable ou en bois, et elle est ouvert du côté qui reçoit le rayonnement. C'est le composant qui assure la stabilité mécanique et la compacité de l'ensemble, il peut être fixé sur un toit ou autre support.

b- Matériaux d'isolation :

Un matériau isolant est placé du côté opposé à l'ouverture à l'intérieur du boîtier et le long des parois latérales, et se caractérise par une faible conductivité thermique pour limiter les pertes de chaleur par l'arrière du capteur.

c- Panneau absorbant :

Sa fonction est de convertir la lumière solaire incidente sur le capteur en chaleur, qui est ensuite transférée au fluide caloporteur à son tour. Le choix de l'absorbeur est basé sur les facteurs suivants :

- Haute conductivité.
- Durabilité.
- Très absorbant.
- Emissivité relativement faible.

La plaque qui absorbe la lumière du soleil est noircie sur une face, cette face est tournée vers le rayonnement solaire. Nous découvrons également qu'il est utilisé pour collecter l'énergie solaire, puis transférer la chaleur au fluide caloporteur ou à l'air inflammable, ceci est accompli par conduction, convection ou rayonnement. Le fluide est soit inflammable, soit ininflammable.

La spécificité de l'absorbeur de la plaque :

La sélectivité d'une plaque est le rapport du coefficient d'absorption α au coefficient d'émission infrarouge ϵ_m . La couche sélective de la plaque est une couche de peinture noire très fine qui doit résister à des températures de 100 à 110 degrés Celsius.

Dans les scénarios de chauffage d'eau sanitaire, on cherche généralement à renforcer la spécificité de la plaque afin d'augmenter la part du rayonnement solaire qui est absorbée, et de diminuer la part qui est réfléchi, ceci est réalisé en enduisant la plaque d'une couche sélective qui est importante.

d- Le couvercle transparent :

Le couvercle transparent est amovible, mais il peut grandement améliorer l'efficacité du collecteur en créant un effet de serre. L'avantage d'une couverture transparente est intéressant.

Son importance est considérable, c'est la création de l'effet de serre en lui permettant de passer à travers le rayonnement solaire de courte longueur d'onde (visuel) et en évitant une longue portée (rayons infrarouges) qui vont émerger, ce phénomène est appelé l'effet de

Serre qui améliore l'efficacité de la source d'énergie solaire.

Le type de couvercle peut être en plastique ou en verre, ce dernier ayant une plus grande surface.

I-5) Les différentes applications des capteurs solaires :

I-5-1) Chauffages des bâtiments :

Les capteurs solaires thermiques peuvent également être utilisés pour le chauffage des bâtiments. Ils peuvent être intégrés aux systèmes de chauffage existants, réduisant ainsi la dépendance aux combustibles fossiles et réduisant les coûts de chauffage.



Figure (I-15) : chauffage d'un local

Le principe de fonctionnement est de faire circuler le caloporteur (air) avec un ventilateur pour l'amener à la destination voulue.

I-5-2) Séchage :

Les capteurs solaires à air sont utilisés pour le séchage de produits agricoles, de matériaux de construction, de produits industriels et même de vêtements. L'air chaud généré par ces capteurs permet d'accélérer le processus de séchage de manière naturelle et économique.

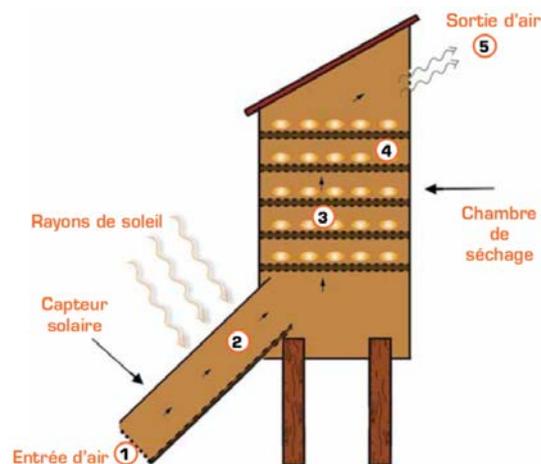


Figure (I-16) : schéma du séchage

I-6) L'inertie thermique :

L'inertie thermique est essentielle pour la gestion énergétique des bâtiments. Elle se réfère à la capacité d'un matériau ou d'un système à stocker et à libérer efficacement la chaleur. Les matériaux à forte inertie thermique peuvent absorber et stocker une grande quantité de chaleur sans subir de variations significatives de température. Cela permet de réguler les variations de température dans un bâtiment en libérant progressivement la chaleur emmagasinée lorsque les conditions le permettent.

L'inertie thermique est bénéfique pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. Par exemple, les matériaux à forte inertie thermique peuvent absorber la chaleur excessive lors de

jours chauds, limitant ainsi l'augmentation de la température intérieure. Ensuite, pendant les périodes plus fraîches, ces matériaux peuvent restituer lentement la chaleur stockée, maintenant une température confortable sans recourir à des systèmes de climatisation ou de chauffage énergivores.

Les matériaux couramment utilisés pour leur inertie thermique incluent la pierre, le béton, la brique et les matériaux à changement de phase (PCM). Les PCM sont capables de stocker et de libérer de la chaleur en subissant une transition de phase, ce qui leur permet de stocker une grande quantité d'énergie thermique dans un volume réduit.

Une conception et une utilisation judicieuses de l'inertie thermique dans les bâtiments peuvent réduire la dépendance aux systèmes de chauffage et de climatisation, en exploitant l'énergie solaire passive, la ventilation naturelle et les sources de chaleur internes. Cela conduit à une amélioration significative de l'efficacité énergétique, à des économies de coûts et à un meilleur confort thermique pour les occupants.

Cependant, la quantité d'inertie thermique nécessaire peut varier en fonction du climat, de la localisation géographique et des besoins spécifiques d'un bâtiment. Des études approfondies et des calculs précis sont souvent nécessaires pour déterminer la quantité et le type de matériaux à utiliser afin de tirer pleinement parti des avantages de l'inertie thermique dans un projet de construction ou de rénovation.

I-7) Le stockage de l'énergie :

Le stockage de l'énergie fait partie intégrante des préoccupations centrales, qu'il s'agisse de maximiser les ressources énergétiques ou d'en faciliter l'accès. Ceci facilite l'ajustement de la production et de la consommation d'énergie en minimisant les pertes. L'énergie est stockée lorsqu'elle est plus disponible que nécessaire et peut être restituée lorsque la demande est plus importante. Quelle que soit l'intermittence ou la variabilité de la production d'énergies renouvelables, par exemple les énergies renouvelables, cette opération permet également une réponse cohérente à la demande.

Les méthodes de stockage dépendent du type d'énergie. Les énergies fossiles (charbon, gaz, pétrole) qui sont à l'état naturel de réservoirs, serviront naturellement de stocks. Une fois extraits, ils peuvent être facilement isolés, hébergés et déplacés.

Le stockage d'énergie intermittente est plus difficile : l'énergie est vectorisée par des systèmes spécifiques au stockage d'électricité, de chaleur ou d'hydrogène, ces besoins nécessitent la réalisation de systèmes de stockage spécifiques. [14]

I-7-1) Les Différents techniques de stockage d'énergie :

I-7-1-1) Stockage d'énergie par batteries :

Batteries lithium-ion : Les batteries lithium-ion sont largement utilisées pour le stockage d'énergie à petite et moyenne échelle. Elles offrent une densité d'énergie élevée, une efficacité de charge-décharge élevée et une longue durée de vie. Elles sont couramment utilisées dans les véhicules électriques, les systèmes de stockage d'énergie résidentiels et commerciaux, ainsi que dans les applications portables.

Batteries au plomb-acide : Les batteries au plomb-acide sont plus anciennes et moins performantes que les batteries lithium-ion, mais elles sont toujours utilisées dans certaines

applications, notamment dans les systèmes solaires hors réseau et les applications industrielles nécessitant une alimentation de secours.

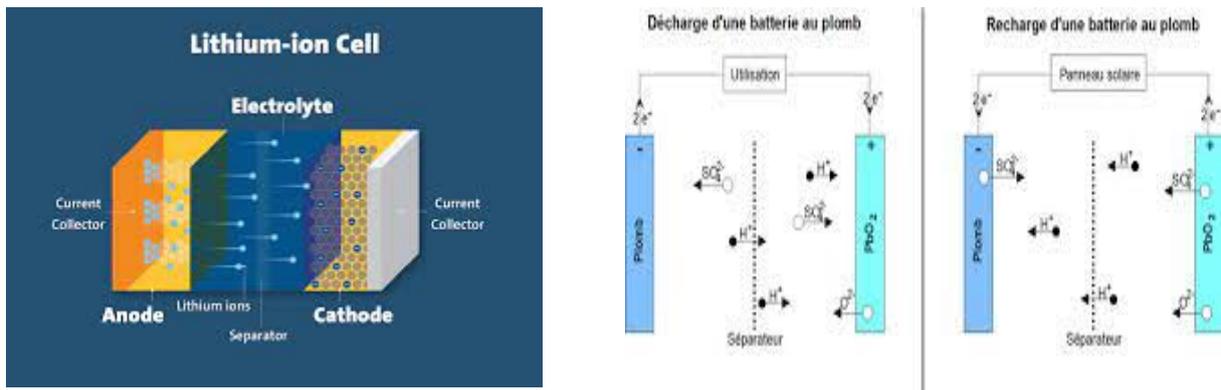
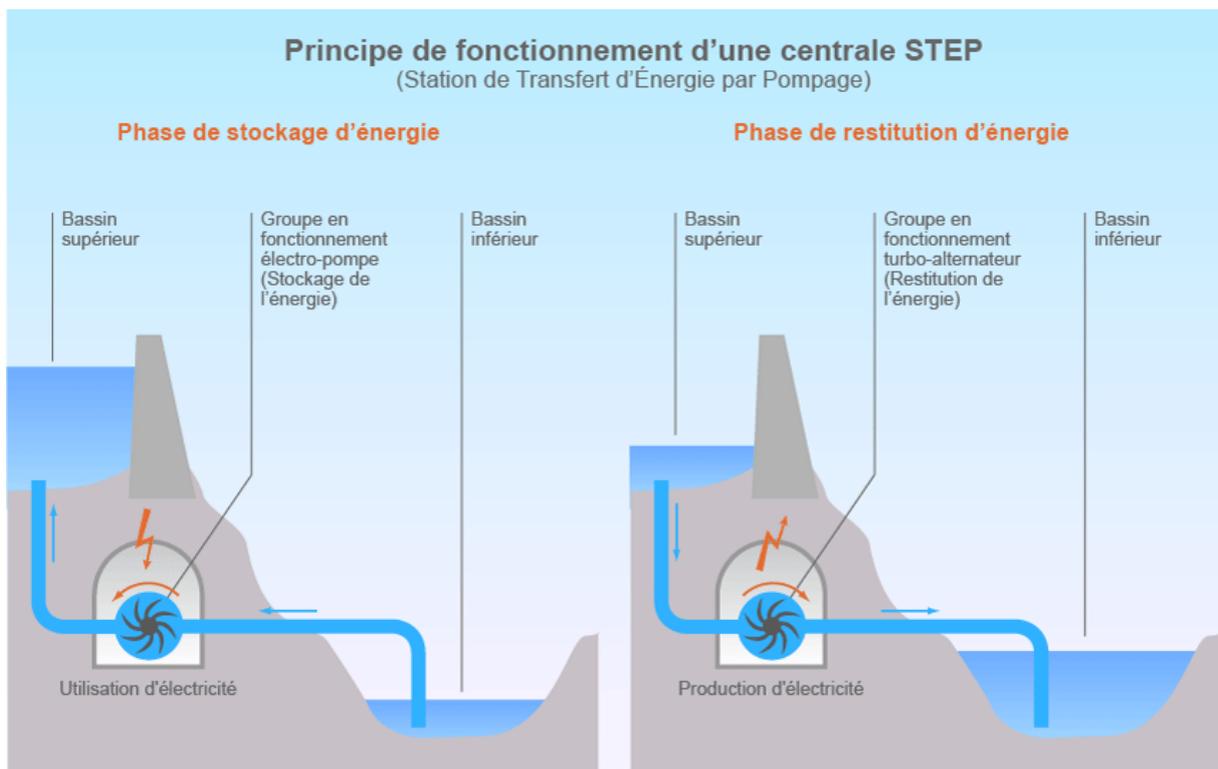


Figure (I-17) : Batterie lithium-ion et plomb acide

I-7-1-2) Stockage d'énergie par pompage hydraulique :

L'énergie nécessaire pour pomper l'eau d'un réservoir inférieur vers un réservoir supérieur est utilisée pour définir le stockage thermique. Lorsque de l'énergie est nécessaire, l'eau est libérée du réservoir supérieur vers le réservoir inférieur via des turbines, ce qui génère de l'énergie. Ce système a une grande capacité de stockage d'énergie et une réponse rapide aux demandes du réseau électrique.



Figure(I-18) : Station de transfert d'énergie par pompage

I-7-1-3) Stockage d'énergie thermique :

I-7-1-3-1) Stockage d'énergie thermique à haute température : Il s'agit de stocker l'énergie thermique produite à partir de sources renouvelables telles que le solaire concentré ou la biomasse, pour une utilisation ultérieure dans la production d'électricité ou de chaleur. Les systèmes de stockage d'énergie thermique à haute température utilisent souvent des matériaux à changement de phase ou des sels fondus pour stocker et libérer l'énergie thermique.

I-7-1-3-2) Stockage d'énergie thermique à basse température : Ce type de stockage d'énergie thermique utilise des matériaux à changement de phase ou des réservoirs d'eau chaude pour stocker l'énergie thermique à des températures plus basses, généralement pour le chauffage et la climatisation des bâtiments.

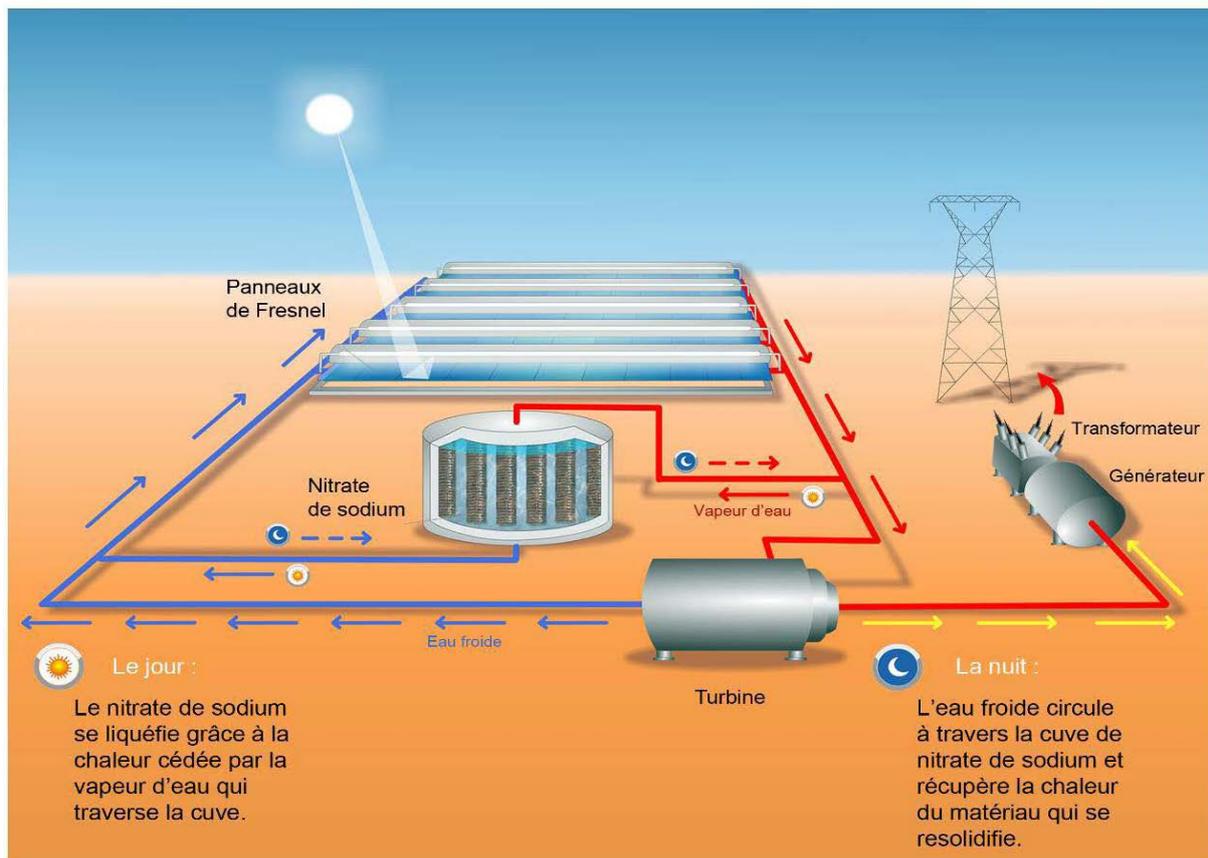


Figure (I-19) : Système de stockage d'énergie par changement de phase

Parmi les applications courantes du stockage de chaleur, on peut citer :

Stocker l'électricité excédentaire générée pendant les heures creuses sous forme de chaleur pour répondre à la consommation d'énergie pendant les heures de pointe

Récupération de la chaleur résiduelle générée lors du fonctionnement des installations industrielles pour une utilisation ultérieure pour d'autres besoins

. Stocker l'énergie générée par les systèmes solaires passifs les jours ensoleillés pour l'utiliser la nuit ou à d'autres moments.

I-7-1-3-3) Le stockage chauffe-eau solaire :

Le panneau solaire thermique utilise l'énergie solaire pour chauffer l'eau ou un liquide caloporteur. Ce liquide est ensuite dirigé vers le chauffe-eau, où il transmet la chaleur qu'il a accumulée en passant à travers un serpentin. Ensuite, il retourne vers le panneau solaire. Une source d'énergie supplémentaire est utilisée pour chauffer l'eau les jours où les conditions météorologiques ne permettent pas une exposition solaire suffisante. [15]

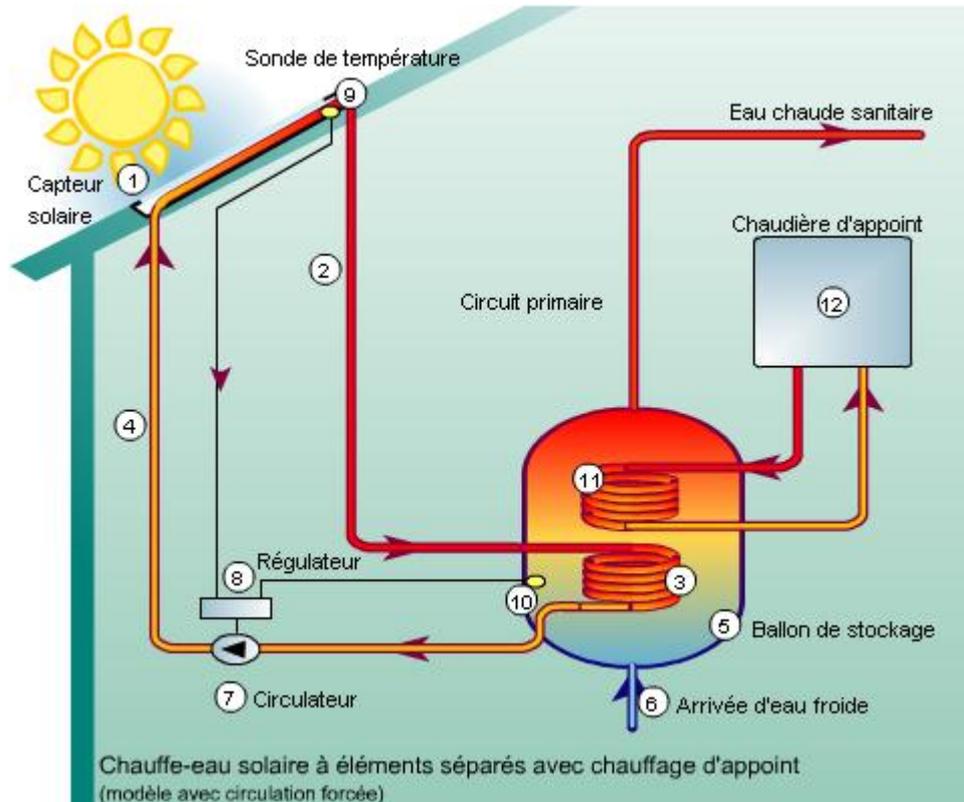


Figure (I-20) : schéma d'un chauffe- eau solaire

I-7-1-3-4) Le stockage d'énergie solaire avec les pierres (galets) :

Le stockage de l'énergie solaire à grande échelle constitue un défi important en raison de la nature fluctuante de cette source d'énergie. Le stockage thermique, qui convertit l'énergie solaire en chaleur pour une utilisation ultérieure, est une méthode prometteuse. Les pierres de galets sont utilisées comme matériau de stockage en raison de leurs excellentes propriétés thermiques.

Le processus implique l'utilisation de systèmes de collecte de chaleur solaire pour chauffer un fluide caloporteur, qui transfère ensuite la chaleur vers un réservoir de pierres de galets. Les pierres stockent efficacement la chaleur et peuvent la libérer lorsque nécessaire. Ce système permet de fournir une énergie thermique constante, même en l'absence de soleil. Lorsque de l'énergie est requise, le fluide caloporteur extrait la chaleur des pierres pour générer de l'électricité. Les pierres de galets sont abondantes, peu coûteuses et offrent une solution économiquement viable.

Cependant, les installations de stockage de grande taille nécessaires peuvent poser des défis d'espace et de coûts. Malgré cela, le stockage de l'énergie solaire avec des pierres de galets présente une solution prometteuse pour la transition vers un système énergétique plus propre et plus efficace.



Figure (I-21) : les galets

Matériau	Densité (kg/m³)	Chaleur spécifique (J/kg.k)	Capacité thermiques volumétrique (J/ m³ .k)
Argile	1458	879	1.28
Briques	1800	837	1.51
Grès	2200	712	1.57
bois	700	2390	1.67
Béton	2000	880	1.76
verre	2710	837	2.27
Aluminium	2710	896	2.43
fer	7900	452	3.57
acier	7840	465	3.68
Eau	988	4182	4.17
galet	1600	1000	2.48

Tableau (I-2) : quelques propriétés des matériaux de stockage de chaleur sensible

I-7-1-4) Stockage d'énergie par air comprimé :

Le stockage d'énergie par air comprimé utilise l'énergie excédentaire pour compresser de l'air et le stocker dans des réservoirs souterrains ou des cavernes. Lorsque l'électricité est requise, l'air comprimé est libéré pour actionner une turbine et générer de l'électricité.

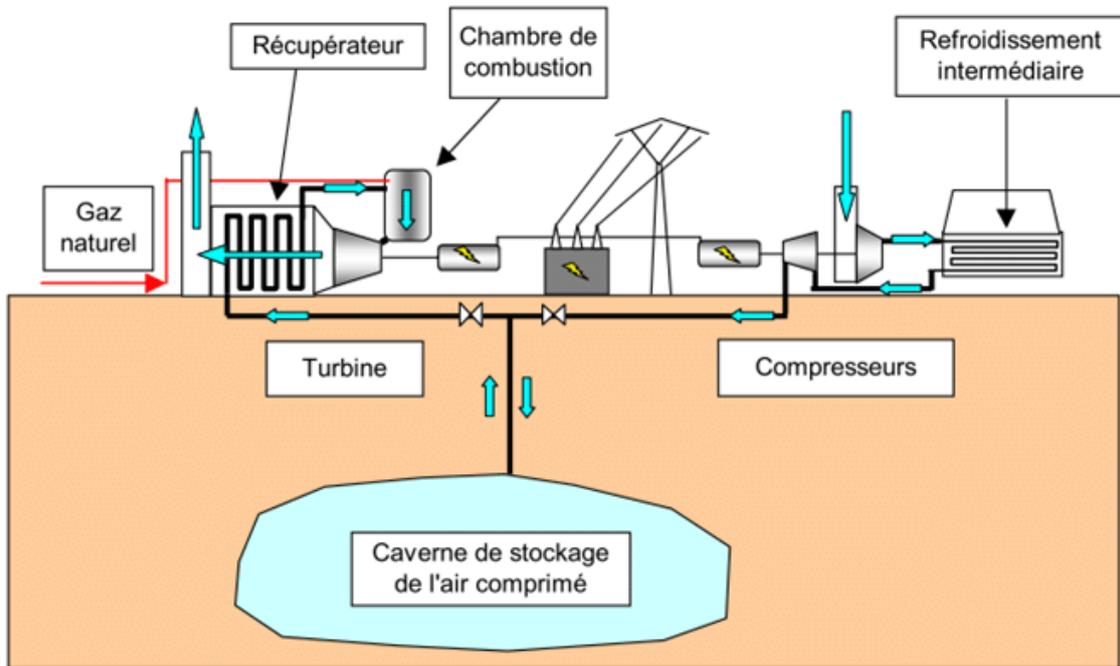


Figure (I-22) : Schéma d'installation du système de stockage par air comprimé

I-7-1-5) Stockage d'énergie par volants d'inertie :

Les volants d'inertie stockent l'énergie cinétique simplement en faisant tourner.

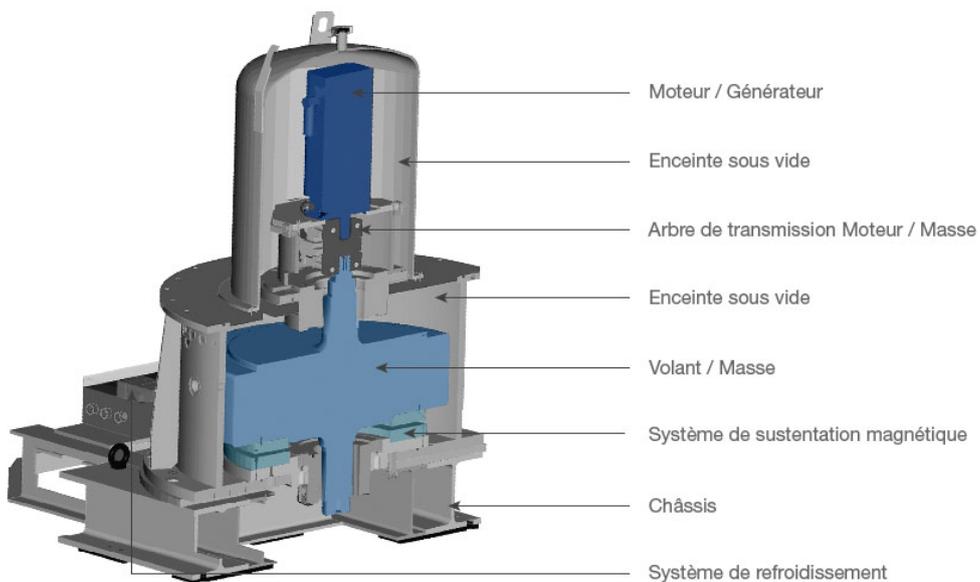


Figure (I-23) : schéma du volant d'inertie

I-8) Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons touché les différents aspects du gisement solaire ainsi que des généralités sur les capteurs solaires et une vue général sur le stockage d'énergie et l'inertie thermique, finissons avec une recherche bibliographique des différentes thèses de recherche sur les capteurs solaires pour donner un aperçu sur le principe de fonctionnement des capteurs solaires pour nous aider à notre réalisation.

Chapitre II :

Conception Et réalisation

II-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

Cette réalisation ne fait qu'un pas vers l'énergie appropriée de notre environnement en combinant et en épousant les éléments qui conviennent à nos objectifs.

II-2) Les buts recherchés par cette réalisation :

- Subvenir aux besoins quotidiens de l'énergie qu'on puise (la chaleur).
- Mettre un frein ou tout au plus réduire la consommation de l'énergie fossile.
- Réduire la pollution atmosphérique par l'utilisation d'une énergie propre.
- Sensibiliser le citoyen pour l'amener à suivre cet exemple.
- Participer au respect de l'environnement en réduisant les déchets jetés dans la nature

II-3) Avantages et inconvénients du capteur :

II-3-1) : Avantages :

1. **Efficacité énergétique :** Les pierres de galets ont une capacité élevée à stocker la chaleur, ce qui permet au capteur solaire à air auto-stockeur de récupérer et d'utiliser efficacement l'énergie solaire.
2. **Récupération de chaleur prolongée :** Les pierres conservent la chaleur pendant de longues périodes, ce qui permet au capteur de fournir de la chaleur même lorsque l'ensoleillement est faible ou inexistant.
3. **Durabilité :** Les pierres sont robustes et résistantes à la corrosion, ce qui assure une longue durée de vie au capteur solaire à air auto-stockeur.
4. **Disponibilité et coût :** Les pierres sont généralement faciles à trouver et relativement abordables par rapport à d'autres matériaux de stockage thermique.

II-3-2) : Inconvénients :

1. **Conductivité thermique limitée :** Les pierres peuvent avoir une conductivité thermique inférieure à certains autres matériaux de stockage thermique, ce qui peut affecter légèrement l'efficacité de transfert de chaleur du capteur solaire à air auto-stockeur.
2. **Masse et encombrement :** Les pierres peuvent être lourdes et nécessitent souvent un espace considérable pour être installées, ce qui peut poser des défis en termes de conception et d'installation du système.
3. **Temps de réponse :** En raison de leur masse thermique élevée, les pierres peuvent nécessiter plus de temps pour atteindre la température de fonctionnement optimale, ce qui peut entraîner un temps de réponse légèrement plus long pour le capteur solaire à air auto-stockeur.

Il est important de noter que les avantages et les inconvénients peuvent varier en fonction de la conception spécifique du capteur solaire à air auto-stockeur et des propriétés des pierres de galets utilisées. Il convient donc de prendre en compte ces facteurs lors de l'évaluation de la pertinence de ce système pour une application donnée.

II-4) Réalisation d'un capteur solaire à air :

La réalisation de notre capteur s'est déroulée au niveau de l'atelier de fabrication des décors des maisons situées à KOLEA wilaya de TIPAZA et dans les quelques ateliers ailleurs.

Suivant les étapes présentées :

II-4-1) Le boîtier :

Le boîtier est l'enceinte des éléments du capteur. Il enveloppe l'isolant ainsi que les galets, 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 (II-1) : Le boîtier en bois rouge.

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

Longueur	1.98 m
Largeur	0.98 m
Hauteur	30 cm
Epaisseur	2 cm
Surface de captation	1.94 m²

Tableau (II-1) : Dimensions du boîtier.

II-4-2) Plaque transparente :

Pour fermer le capteur, deux plaques transparentes en verre viennent se placer au-dessus de celui-ci, qui a la propriété de laisser passer entre 84 et 92 % du rayonnement solaire.



Figure (II-2) : deux plaques transparentes 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 m ²
Surface 2	0.92 m ²
Surface de captation	1.94 m ²

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

II-4-3) 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 4 cm qui couvre tous l'intérieur du boîtier



Figure (II-3) : l'isolation

II-4-4) Les pierres de galets absorbants :

C'est un Caillou usé et poli par le frottement de l'eau, des pierres entre elles ou du vent.

Un galet est fragment de roche à l'aspect arrondi est lisse engendré par usure mécanique

On les trouve en bord de mer ou dans le lit des torrents , dans ce projet on a pris les galets de la plage située à la ville de FOUKA la wilaya de TIPAZA



Figure (II-4) : Les pierres utilisées

II-4-4-1) Traitement des pierres

Les galets sont placés 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-5) : les pierres ont été peintes avec une couleur noir

II-4-5) 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 :

VERSION 220 Volts 50/60 Hz. "Caractéristiques données en 50 Hz"

- Diamètre de ventilateur : 10 mm
- Débits : 108 m³/H

- Vitesse : 2300 T/min
- Puissance : 14 W

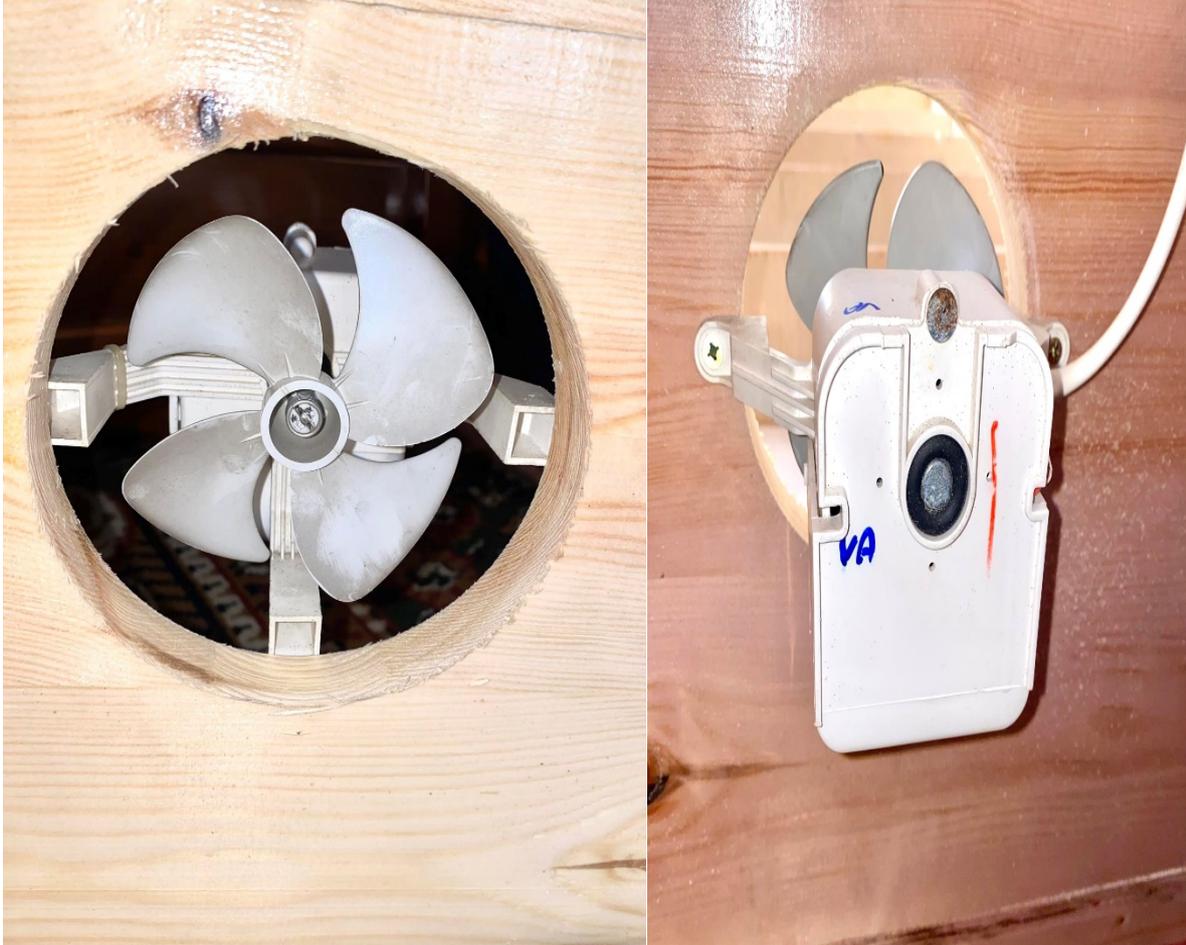


Figure (II-6) : le ventilateur

II-5) Caractéristique du capteur :

Elément	Dimension	Caractéristique	Matériaux
Bas	<u>Longueur</u> : 2 m <u>Largeur</u> : 1 m <u>Épaisseur</u> : 0.015 m	/	Bois rouge
Parois latérales	<u>Longueur</u> : 2 m <u>Largeur</u> : 1 m <u>Hauteur</u> : 0.3 m <u>Épaisseur</u> : 0.02 m	/	Bois rouge
Couverture Transparente	<u>Longueur (deux pièces)</u> : 1 : 1.02 m 2 : 0.92 m <u>Largeur</u> : 1.00 m <u>Épaisseur</u> : 0.005 m	Transmittivité : 0.84 Indice du milieu (n) : 1.518 Coefficient d'extinction (k) :	Verre ordinaire
Absorbeur	Chaque pierre a des dimensions différentes <u>Longueur</u> : entre 0.005m et 0.015m <u>Largeur</u> : entre 0.005m et 0.008m	/	Les pierres de galets
Isolant	<u>Épaisseur (Mousse polyuréthane)</u> : arrière : 0.03 m latérale : 0.025m Épaisseur (polyester) : 0.004	Conductivité : 0.03 W/m.K	1) Mousse Polyuréthane 2) polystyrène

Tableau (II-3) : caractéristique du capteur

II-6) Fabrication du capteur :

Pour la réalisation du capteur solaire, 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



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

II-7) 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)	11 000 DA
Deux Verre ordinaire	(1*2m)	6 000 DA
Mousse polyuréthane	02	2 200 DA
Peinture noire	03	1 100 DA
Variateur de courant	01	250 DA
Silicone	02	800 DA
Rivets	/	100 DA
ventilateur	01	1800 DA
Tuyaux d'évacuation d'air	01	800 DA
	TOTAL	24 300 DA

Tableau (II-4) : les différents matériaux acheté

II-8) Conclusion :

Toutes ces opérations nous fournissent un capteur d'air solaire parfaitement utilisé.
Différentes contraintes (tailles, poids fragiles, etc.) s'appliquaient dans le processus de mise en œuvre.

Chapitre III :

Instrument de mesure

III-1) Introduction

La réalisation de notre capteur nous a pris trois mois de travail, ce chapitre consiste à tester notre capteur en utilisant les différents instruments de mesure, pour caractériser notre capteur on a mesuré les paramètres suivantes :

III-2) Description du capteur solaire plan :

Le capteur a été réalisé dans le département de mécanique de Saad Dahleb de l'Université de Blida. Le but de notre travail expérimental est de mesurer tous les paramètres pour déterminer les performances thermiques du prototype de conception. Le processus d'expérience a été réalisé au niveau de l'Université de Saad Dahleb Blida.

III-2-1) Caractéristiques de site Blida :

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

L'air se situe entre (absorbeurs, matériaux d'isolation) et (absorbeurs, verre). Pour les types de cycle, utilisez la circulation obligatoire, puis circulez naturellement. Le capteur a un support immobile, qui peut être inclus.

Pendant toute la période d'essai, le capteur a été incliné à la latitude de Blida (36,4 °) et a été orienté vers le sud pour obtenir des meilleurs résultats

III-3) Paramètres de mesure :

Les différents paramètres mesurés dans notre expérience sont :

- L'éclairement global [W/m²].
- La température de l'absorbeur [°C].
- La température du fluide à l'entrée et à la sortie du capteur [°C].
- Le débit d'air [kg/s].

III-4) Les instruments de mesures utilisées lors des tests du capteur :

Pour déterminer les performances instantanées de capteur solaire a air, un certain nombre de paramètre doivent être mesurés. Les différents paramètres mesurés et les instruments de mesure utilisés sont décrits dans le tableau :

Paramètres	Instruments	Caractéristiques
Température	Thermocouple	Type K
La vitesse d'air	Débitmètre	Thermo-anémomètre SDL350
Eclairement (inclinée à 36.4°)	pyranomètre	Kipp et Zonen

Tableau (III-1): Caractéristique des différents instruments de mesures.

III-4) Mesure de la température :



Figure (III-1) : photo d'un thermocouple type k.

La prise de mesure des températures est assurée par des thermocouples de **type K**. Ces thermocouples sont les plus stables et recommandés pour l'utilisation continue en atmosphère inerte.

- Un thermocouple à l'entrée du capteur.
- Un thermocouple à la sortie du capteur.
- 6 thermocouples implantés sur les pierres absorbantes.
- Un thermocouple pour la température intérieure de capteur

III-4-1-1) Etalonnages des thermocouples

Les thermocouples utilisés sont de type K et nécessitent un étalonnage.

La sonde d'étalonnage à résistance de platine utilisée et le thermomètre associé permettent d'atteindre une incertitude sur la température mesurée par les thermocouples de l'ordre de $0,1^{\circ}\text{C}$. Les erreurs effectivement corrigées au cours de l'étalonnage sont de l'ordre de $0,3^{\circ}\text{C}$.

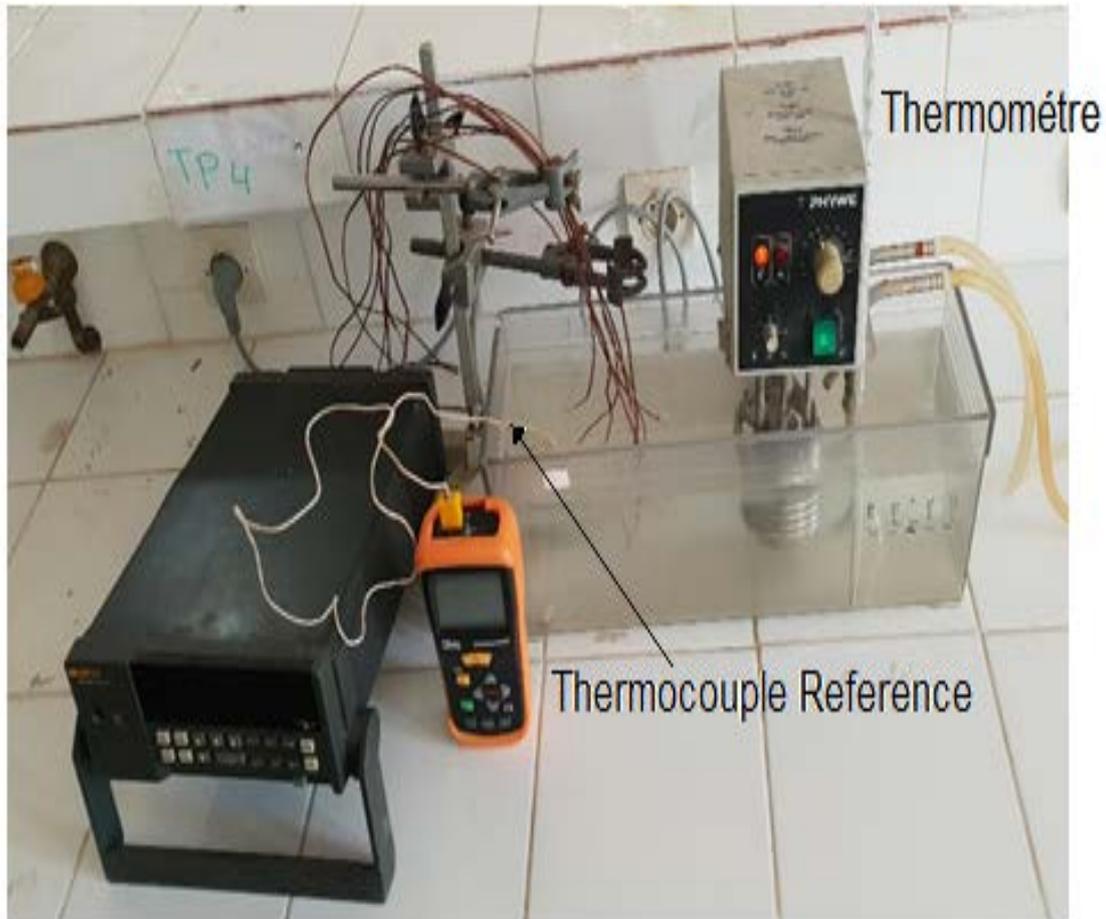


Figure (III-2) : Le dispositif d'étalonnage des thermocouples

Pour assurer la stabilité des thermocouples On a appliqué une source de chaleur constante (l'eau sur le feu). Et chaque 5min on relève les valeurs et donc on obtenait les résultats suivants :

temps	T _f	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
0	11.2	11.3	11.3	11.3	11.5	11.3	11.5	11.4	11.3	11.5
5	20.9	20.9	20.8	20.8	20.7	20.8	21.0	20.8	21.0	20.9
10	28.1	28.2	28.1	28.1	28.1	28.2	28.2	28.0	28.1	28.1
15	35.3	35.3	35.2	35.3	35.4	35.3	35.3	35.3	35.2	35.3
20	52.2	52.1	52.2	52.1	52.2	52.1	52.1	52.2	52.1	52.2
25	66.9	66.9	66.8	67.0	66.8	66.9	66.9	67.0	66.9	67.0
30	83.2	83.1	83.3	83.4	83.4	83.3	83.2	83.3	83.1	83.3

Tableau (III-2): étalonnages des thermocouples

T_f : thermocouple référence

On constate que les valeurs de température sont presque les mêmes. Puisque l'erreur est très petite donc elle est négligeable.

III-4-2) Mesure de l'éclairement global (pyranometre) :

Un pyranomètre est un capteur qui convertit le rayonnement solaire global qu'il reçoit en un signal électrique qui peut être mesuré. Les pyranomètres mesurent une partie du spectre solaire.

La mesure de l'éclairement global est assuré par une solarimètre de **type Kipp et Zonen** comme le montre la figure, Cet appareil est placé sur le capteur, et relie directement à l'acquisition de donné :

La solarimètre a une sensibilité égale à 10.6×10^{-6} [V/W.m²]



Figure (III-3) : photo d'un pyranometre

III-4-3) Acquisition de donn e :

Pour l'enregistrement des données tels que les températures et l'éclaircissement, on a utilisé un enregistreur de type **HYDRE SERIE 2** de 20 entrée,



Figure (III-4) : photo de l'acquisition.

L'enregistreur type HYDRE SERIE 2 a été utilisé pour la lecture des températures d'entrée et de la sortie du capteur, ainsi pour les températures des pierres absorbantes et la température ambiante et l'éclairement solaire.



Figure (III-5) : photo de l'acquisition avec un enregistreur de données.

III-4-4) Mesure de débit d'air

Afin d'assurer de la vitesse d'air et l'humidité relative, on a utilisé un anémomètre de **type Thermo-anémomètre SDL350** constitué essentiellement d'un capteur, et avec la section de l'orifice connue on calcule le débit d'air



Figure (III-6) : photo de l'anémomètre

III-5) Le support du capteur :

Afin de faciliter le déplacement du capteur et de maintenir une inclinaison constante de ce dernier, une équerre commune en fer a été réalisée permettant le déplacement du capteur et son inclinaison de $36,4^\circ$.

Les montures sont fixées sur une inclinaison à la latitude de Blida et sont orientées plein sud pour un maximum d'énergie.

Le capteur a été positionné de manière à ce qu'aucune ombre ne tombe dessus pendant toute la période de test de ce dernier.

Le capteur est insensible à tout rayonnement ou interférence thermique provenant de l'environnement environnant.

III-6) Condition à respecter avant d'entamer les tests :

Les étapes suivantes doivent être respectées avant de démarrer les tests du capteur :

- Le couvercle du capteur (verre) doit être nettoyé.
- Il faut s'assurer qu'il n'y a pas de perturbations extérieures de quelque nature que ce soit (sources de chaleur supplémentaires, effets d'ombre d'arbres ou d'obstacles... etc.).
- Le capteur doit être orienté vers le sud pour capter le maximum d'énergie.
- Le capteur doit être exposé à des conditions naturelles d'air clair et la température ambiante doit se situer dans la plage spécifiée par la norme pour déterminer les performances réelles du capteur.
- Pendant toute la période d'essai du capteur, l'éclairement solaire doit respecter la norme.

III-7) Description du banc d'essai :

Le banc d'essai utilisé consistait en un capteur solaire à air avec des pierres de niche absorbant la chaleur permettant le passage d'un fluide caloporteur entre vitrage-pierres et pierres -isolant

Nos capteurs sont supportés par une structure porteuse inclinée à 36° par rapport à l'horizon.

Après avoir placé les thermocouples et connecté d'autres instruments de mesure, nous commençons les premiers tests pour nous assurer du bon fonctionnement de l'ensemble.

III-8) Disposition des thermocouples dans le capteur solaire

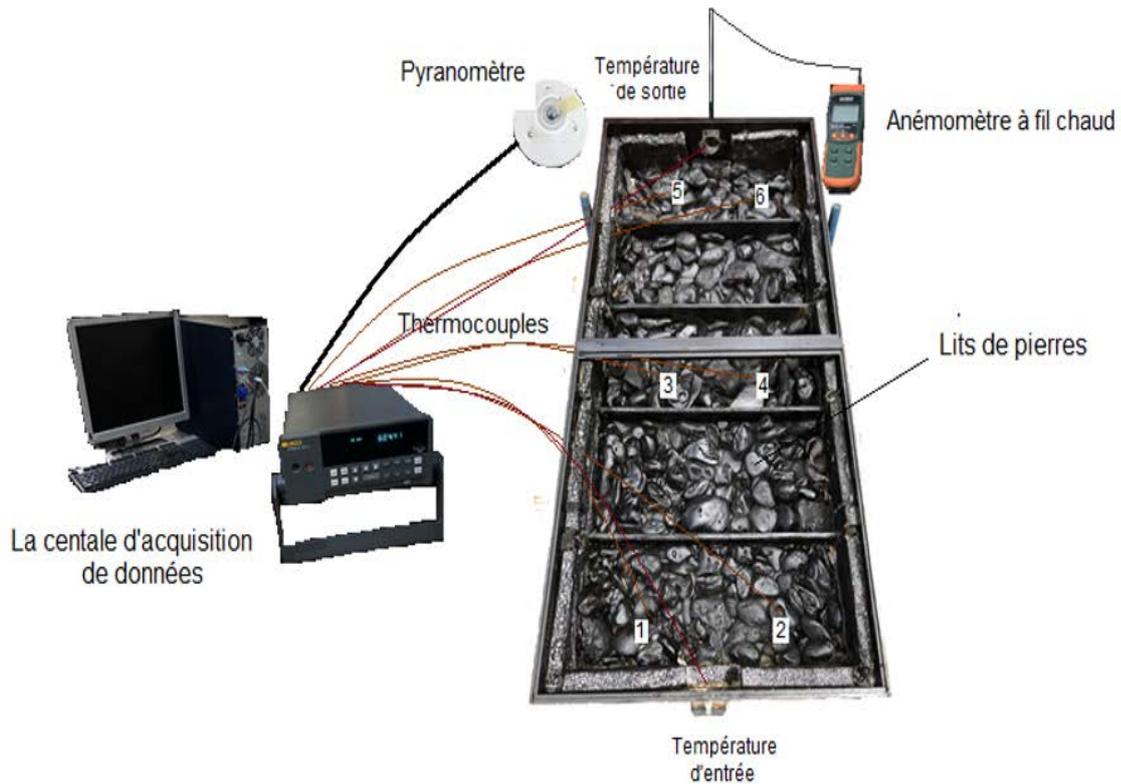


Figure (III-7) : Présentation du système expérimentale

T1 : La Température dans la pierre (premier niveaux)
T2 : La Température dans la pierre (premier niveaux)
T3 : La Température dans la pierre (deuxième niveaux) T4 : La Température dans la pierre (deuxième niveaux)
T5 : La Température dans la pierre (troisième niveaux)
T6 : La Température dans la pierre (troisième niveaux)
T7 : La Température à l'intérieur de capteur
T8 : La Température à la sortie de capteur
T9 : La Température d'entre (ambiante)



Figure (III-8) : photo représenté le capteur réalisé

III-9) Conclusion :

Dans ce chapitre, nous montrons les différentes caractéristiques des capteurs produits et les différentes dimensions de chaque composant du capteur. Nous avons également élaboré les étapes de pré-test, telles que les instruments de mesure et l'acquisition des données de mesure, ainsi que l'équipement à utiliser lors des tests de capteurs.

Chapitre IV :

Résultats et interprétation

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 les performances thermiques du capteur solaire à air. 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 **05 juin 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 (953,77 w/m²) à midi.

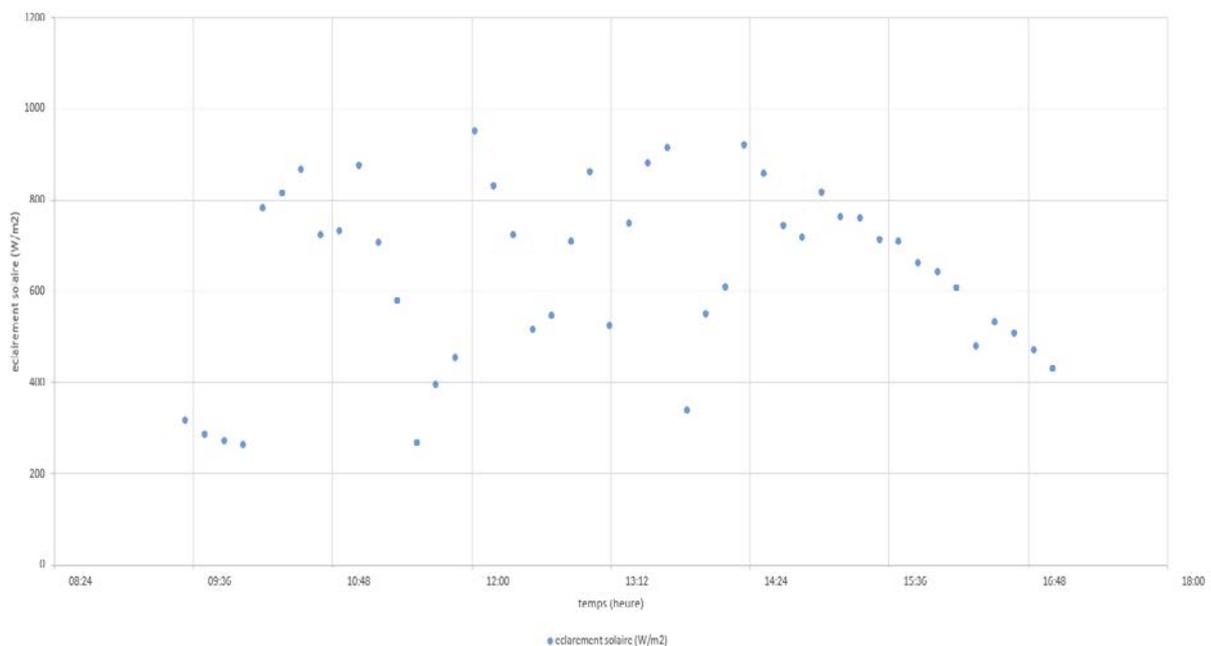


Figure (IV-1) : la variation de l'éclairement globale

- Les figures (IV-2), (IV-3) et (IV-4) représentent les profils de température du lit des galets pour chaque niveau (inferieur, milieu et supérieur), on a constaté que les courbes ont la même allure et l'écart de température est presque le même sur chaque niveau avec une moyenne de 1.5°C .

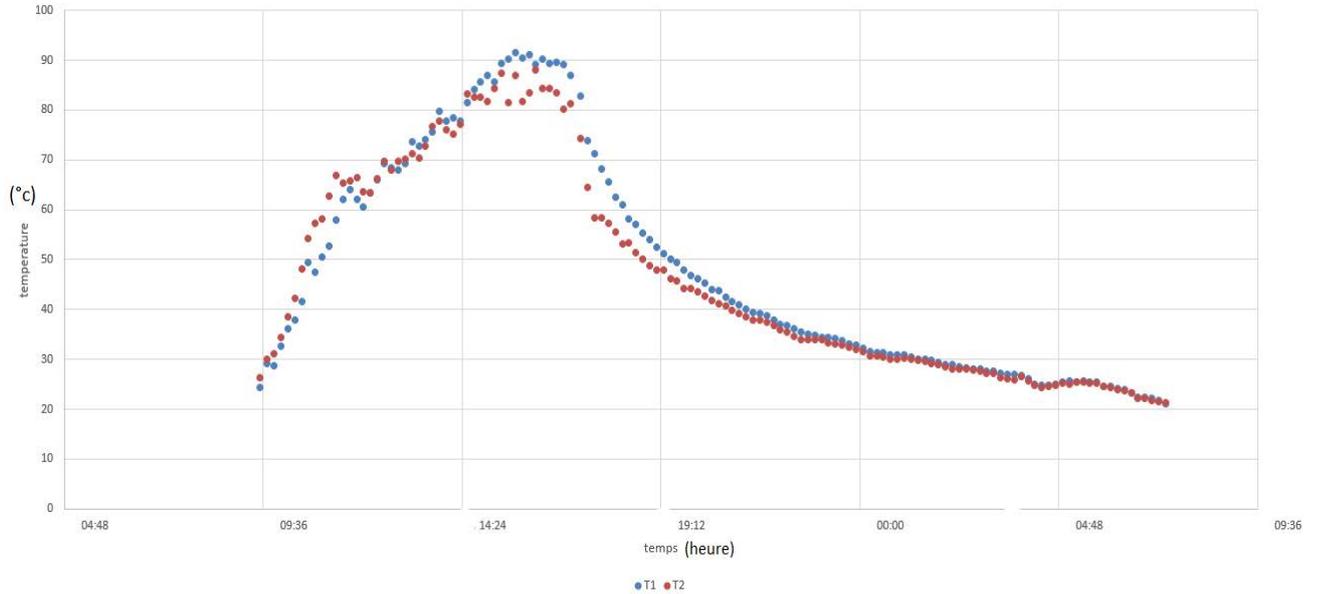


Figure (IV-2) : La variation de température entre les deux pierres sur le niveau inferieur

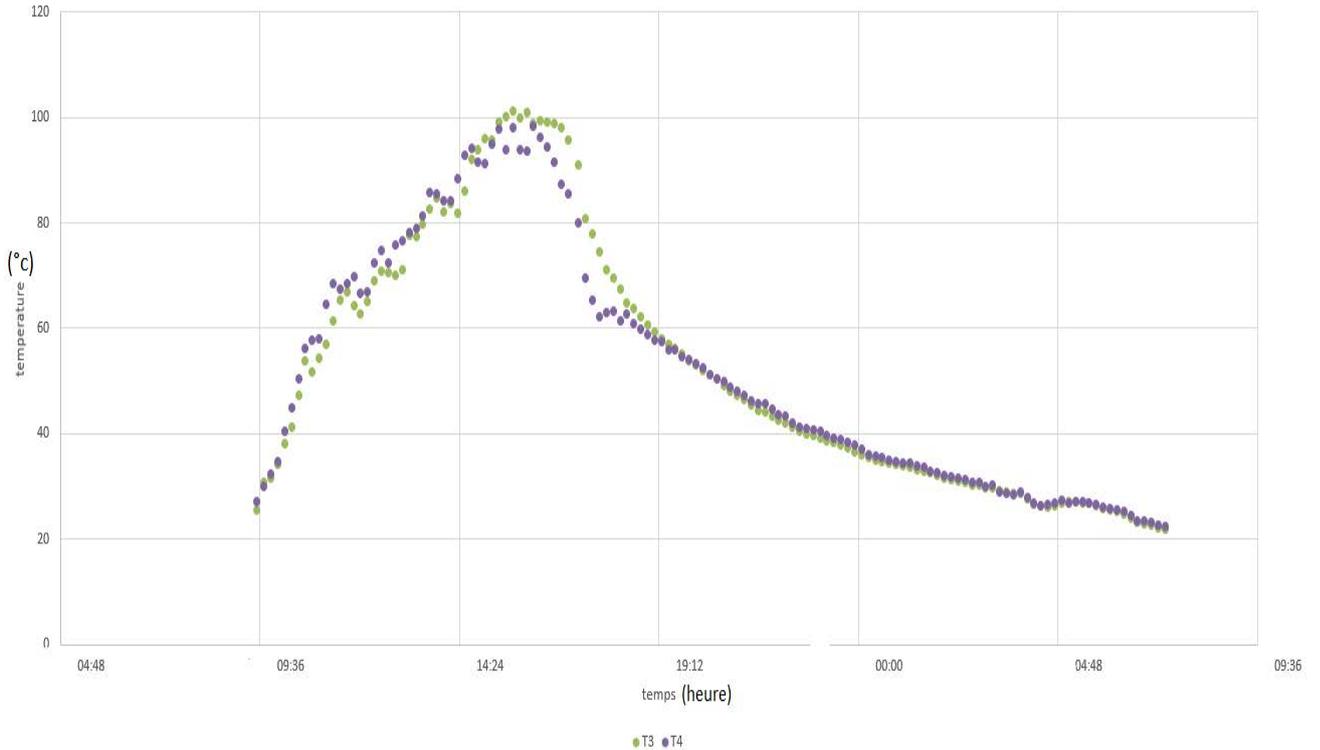


Figure (IV-3) : La variation de température entre les deux pierres au niveau du milieu

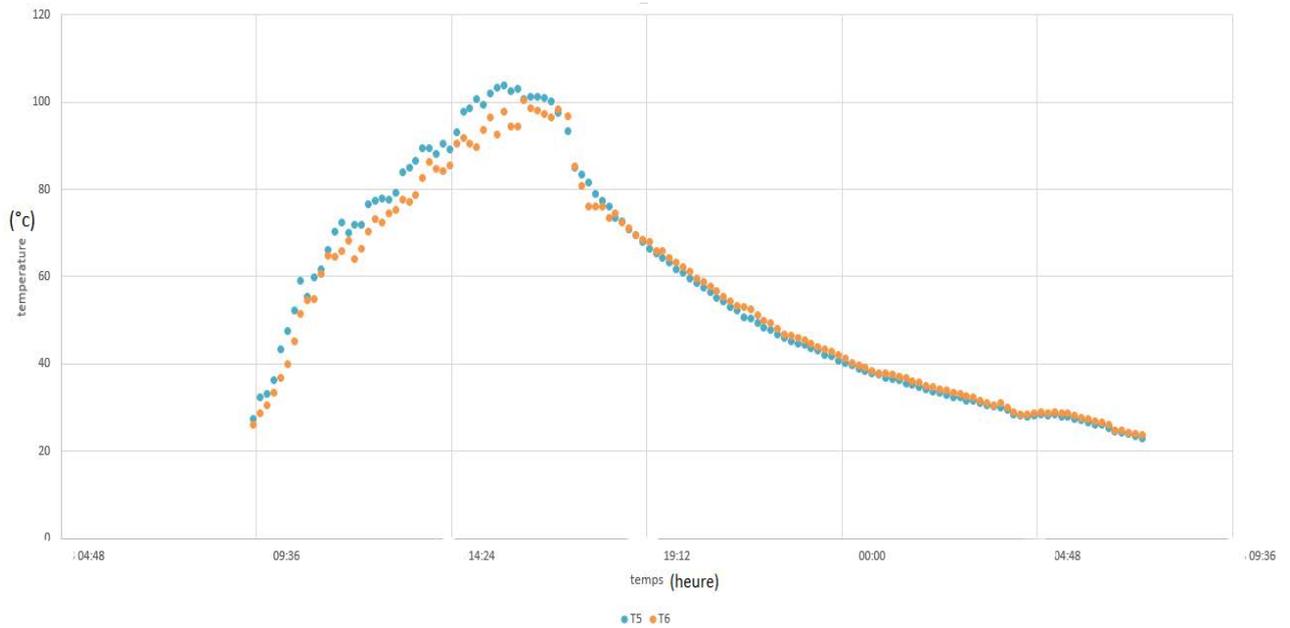


Figure (IV-4) : La variation de température entre les deux pierres sur le niveau supérieur

- La figure (IV-5)** montre la variation de la température entre galets mesurées sur chaque niveau. On constate qu'on a la même allure avec un écart de 10 °c de température entre le niveau inférieur et le niveau supérieur, et qu'il reste le même à partir de 18h. On a constaté également à partir de 18h (absence de l'éclaircement) le phénomène de stratification entre les galets des trois niveaux

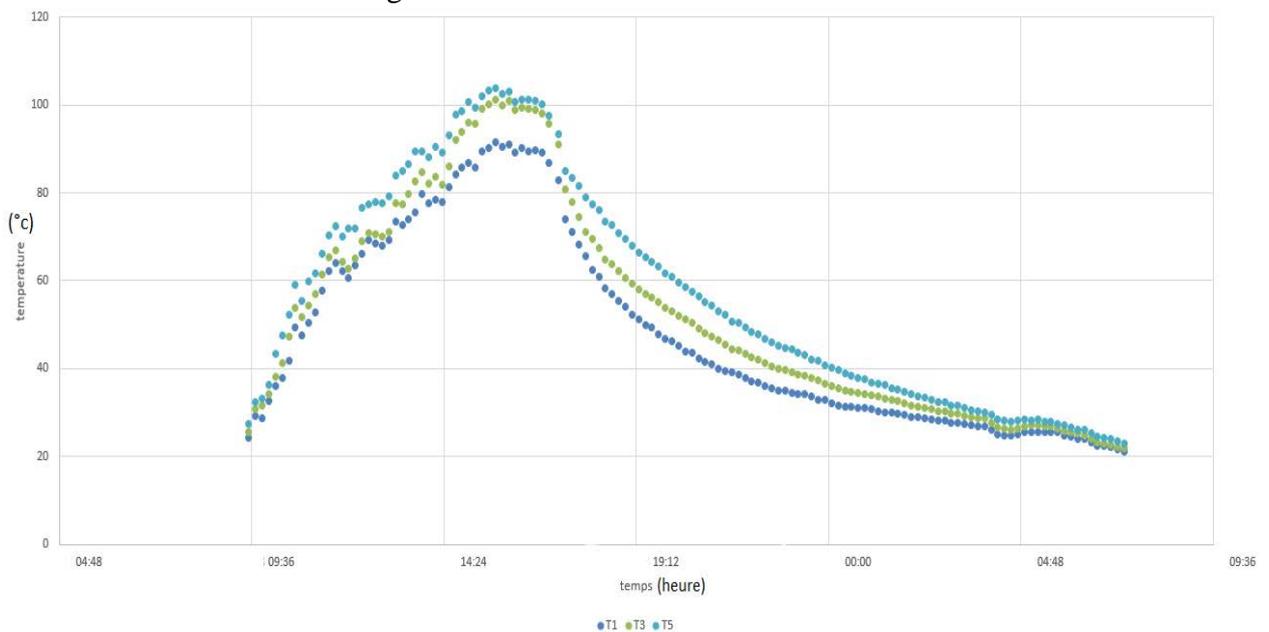


Figure (IV-5) : La variation de température des pierres entre les trois niveaux

- La variation de la température de l'air à l'intérieur du capteur est schématisée dans la **figure (IV-6)**. On remarque qu'elle est séminaire par rapport à la température de lit des pierres, avec une température maximale de 83 °c à 15h.

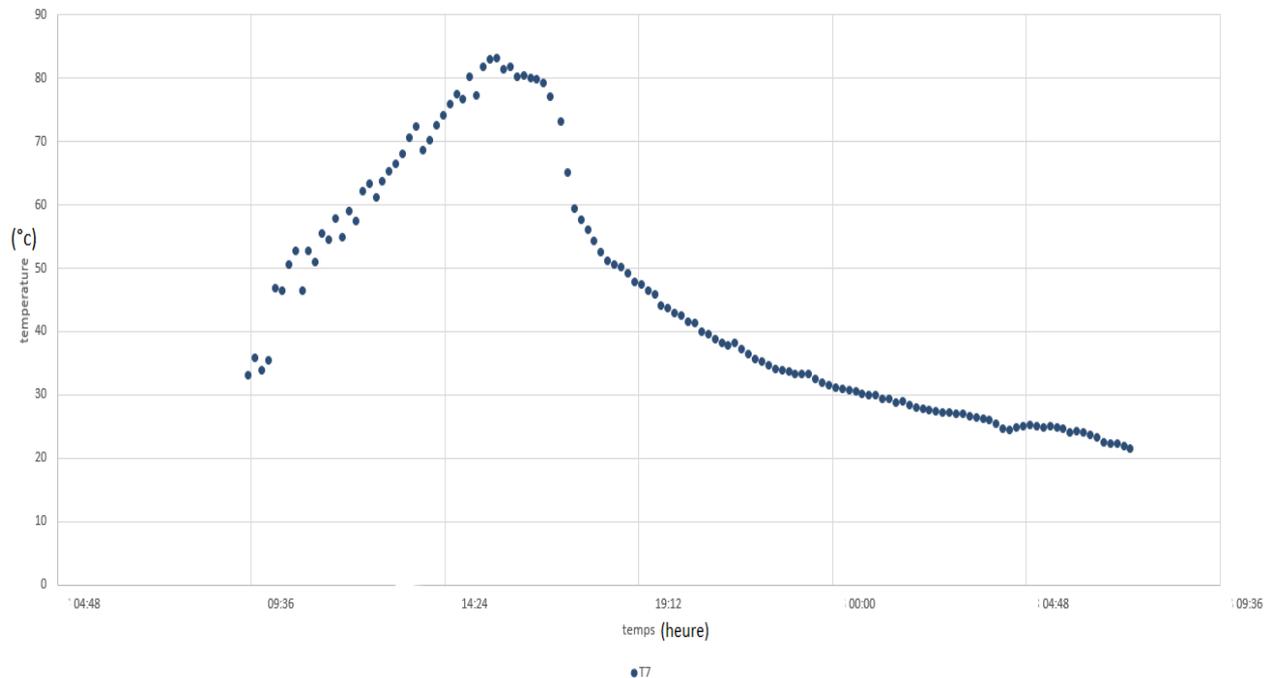


Figure (IV-6) : La variation de température à l'intérieur de capteur

- **La figure (IV-7)** montre la variation de la température à l'entrée et à la sortie, on remarque qu'il y a une différence de 15 à 20 °c le matin, alors qu'à 15h00 on enregistre un pic de 86,9 °c avec une température ambiante de 21.2°C, donc la différence entre la température d'entrée et la température de sortie est de 65,7°C. À partir de 18h00, elle commence à descendre lentement avec l'absence du rayonnement jusqu'à 6h30 de matin, à ce moment-là la température de sortie et la température ambiante sont les mêmes.

On remarque que le pic de l'éclairement solaire est à 12h00 mais le pic de température de sortie est à 15h00 c'est à cause de l'inertie thermique de lit des galets, c'est telle qui stabiliser la croissance de courbe de température.

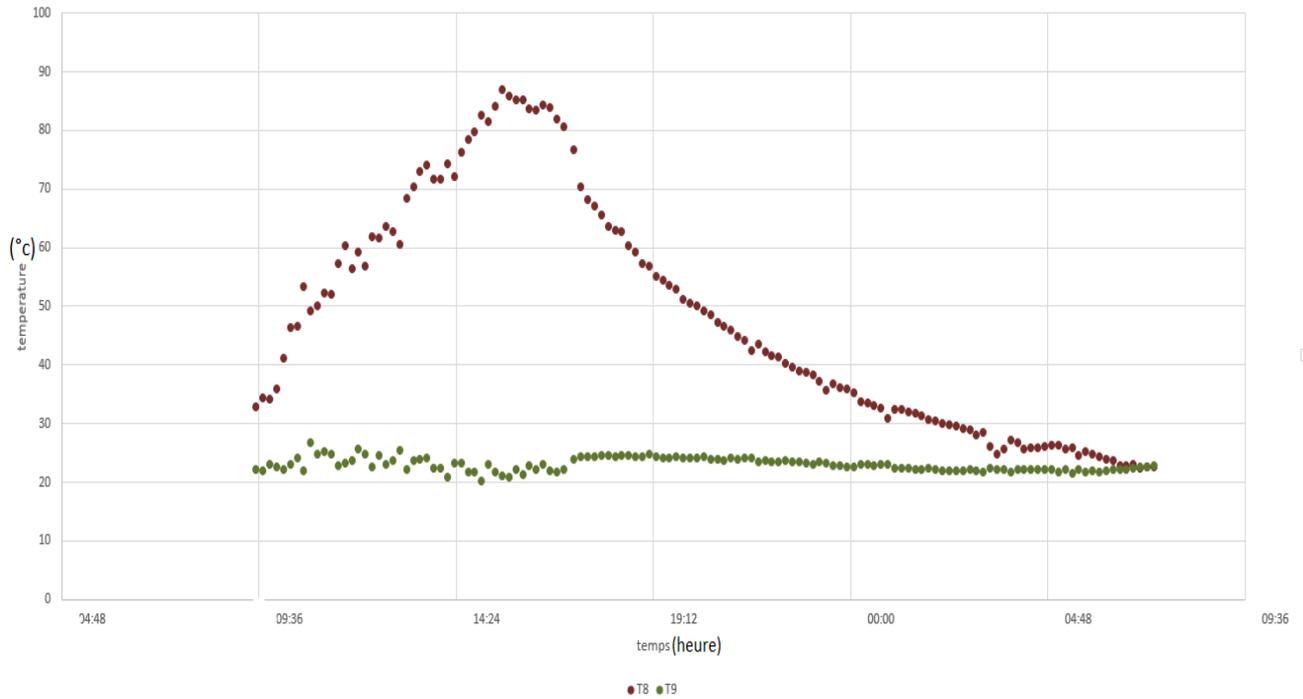


Figure (IV-7) : variation de la température d'entrée et sortie de capteur

IV-3) Cas Convection forcée :

Les résultats expérimentaux pour la convection forcée sont présentés sous forme de graphes, en utilisant 3 débits différents :

IV-3-1) Premier débit

Est pris dans la journée du **29 mai 2023** pour un débit de (0.010 kg/s)

IV-3-1-1) Analyse des résultats :

- **La figure (IV-8)** 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 (1061.32 w/m^2) à 12h20.

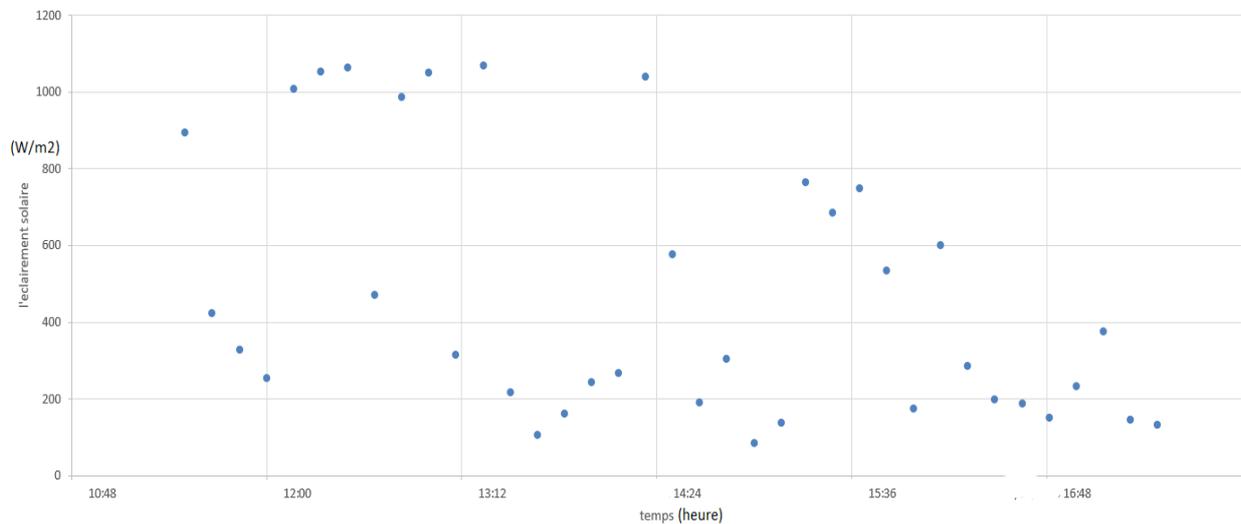


Figure (IV-8) : la variation de l'éclairement globale

- Les figures (IV-9), (IV-10) et (IV-11)** représentent les profils de température des pierres pour chaque niveau (inférieur, milieu et supérieur). On remarque que les trois courbe ayant le même profil, on a observé au début de la journée un écart de température des pierres pour les niveaux bas et milieu de capteur à cause de la propagation de L'air qui n'est pas uniforme à l'entrée du capteur, à partir de 14h on a constaté que l'écart de température des pierres de chaque niveau est presque nulle.

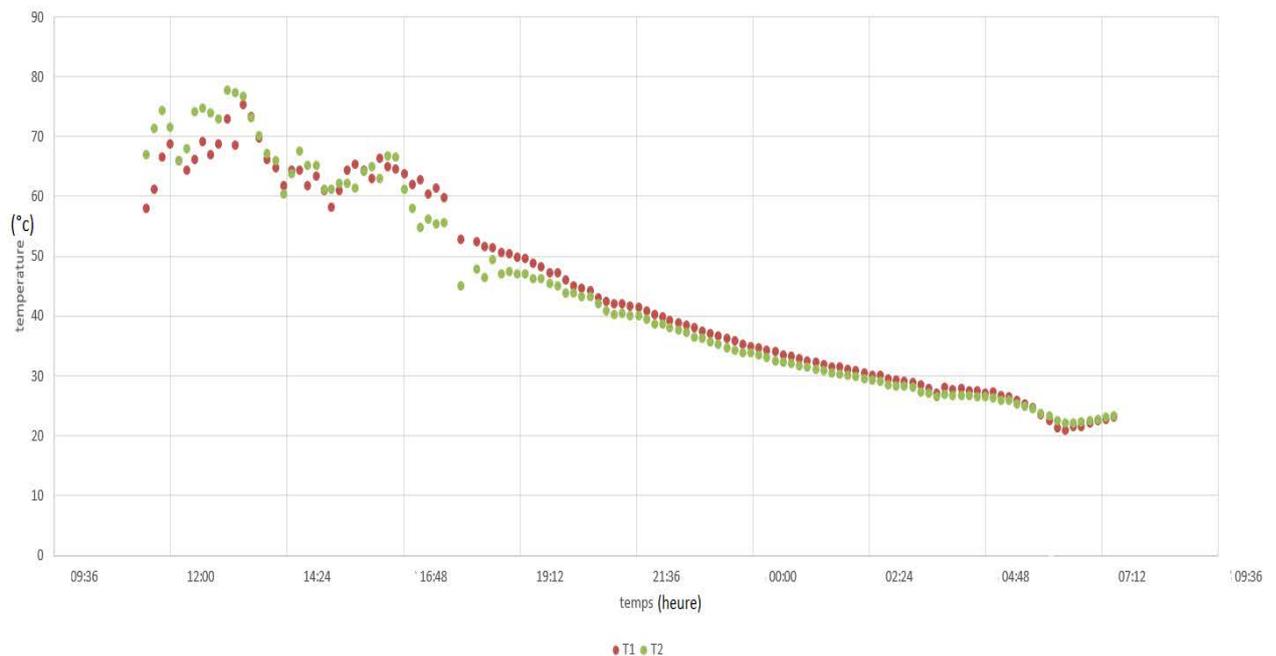


Figure (IV-9) : La variation de température entre les deux pierres sur le niveau inférieur

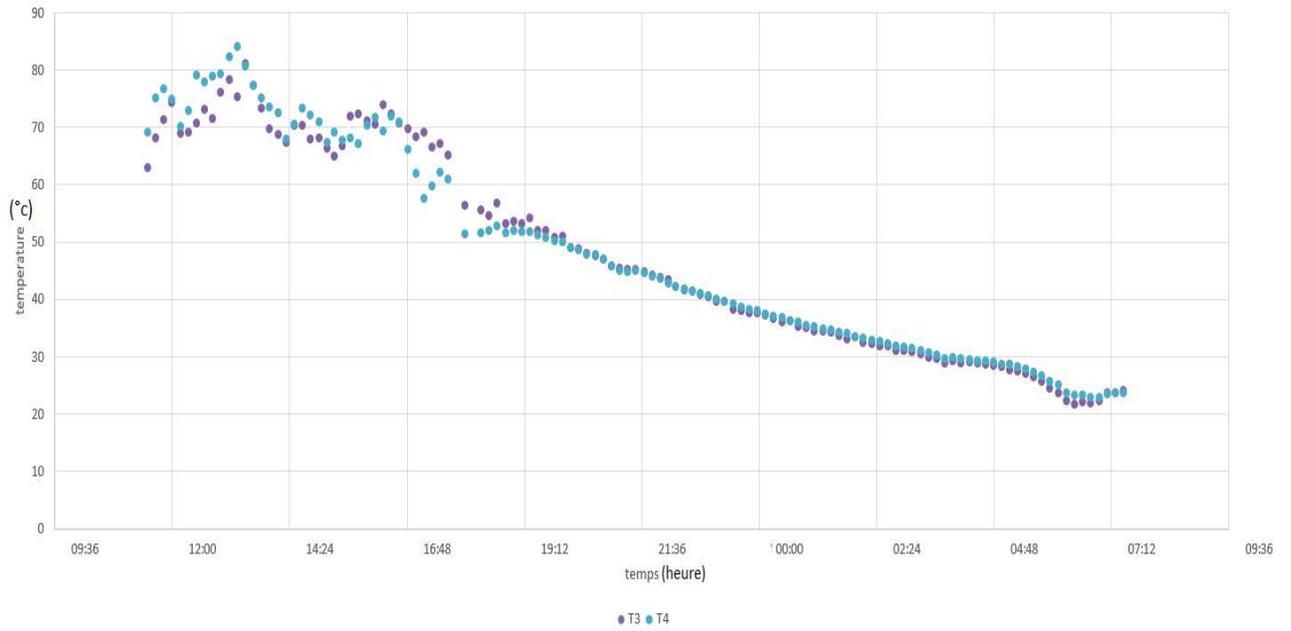


Figure (IV-10) : La variation de température entre les deux pierres au niveau du milieu

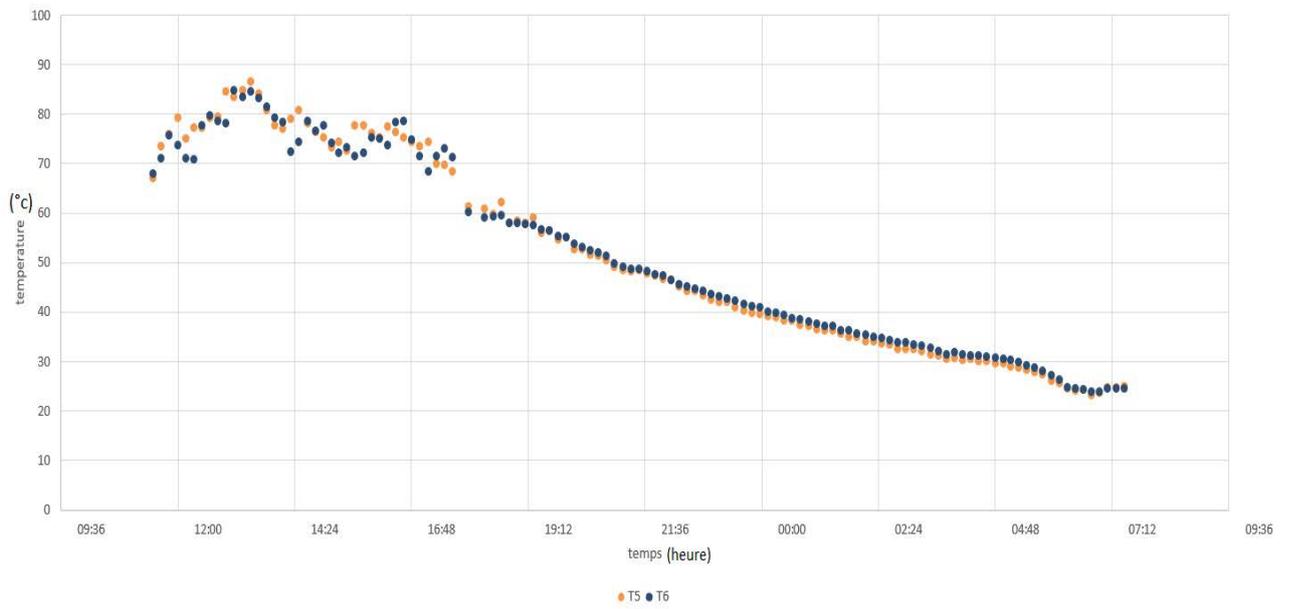


Figure (IV-11) : La variation de température entre les deux pierres sur le niveau supérieur

- **La figure (IV-12)** montré la variation de température des pierres entre les trois niveaux. On remarque qu'on a les mêmes allures avec une différence de température qui varie entre 10 °c et 15 °c de température entre le niveau inférieur et le niveau supérieur à cause de la forme géométrique des pierres.

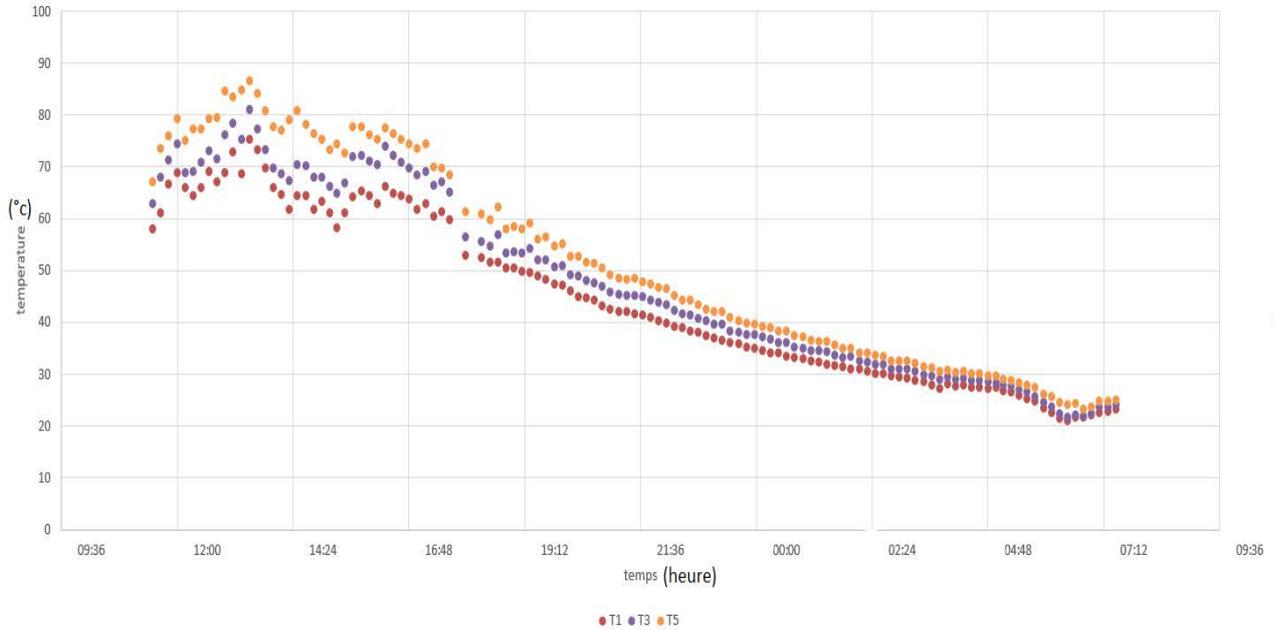


Figure (IV-12) : La variation de température des pierres entre les trois niveaux

- La variation de la température de l'air à l'intérieur du capteur est schématisée dans **La figure (IV-13)** on remarque que cette courbe de température est séminaire par rapport à température des galets est ça valeur maximale et 66.3 °c à 13h00.

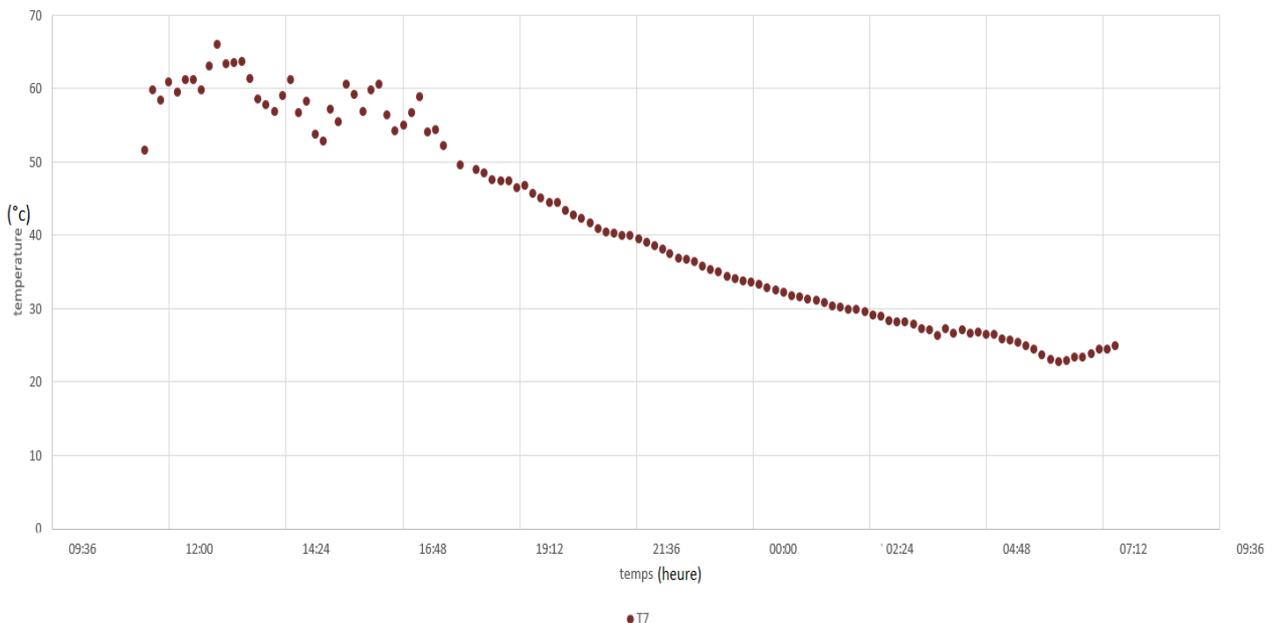


Figure (IV-13) : La variation de température à l'intérieur de capteur

- **La figure (IV-14)** exprime la variation de température à l'entrée et à la sortie du capteur, on remarque une différence de 20 °c le matin, alors qu'à 13h00 on enregistre un pic de 71°C, donc la différence entre la température d'entrée et la sortie La température est de 46.7°C cet écart est resté pendant 5 heures. Est à 18h00 elle commence à descendre lentement avec l'absence de rayonnement jusqu'à 6h00 de matin. On observe que la pente des courbes est importante par rapport à la convection naturelle.

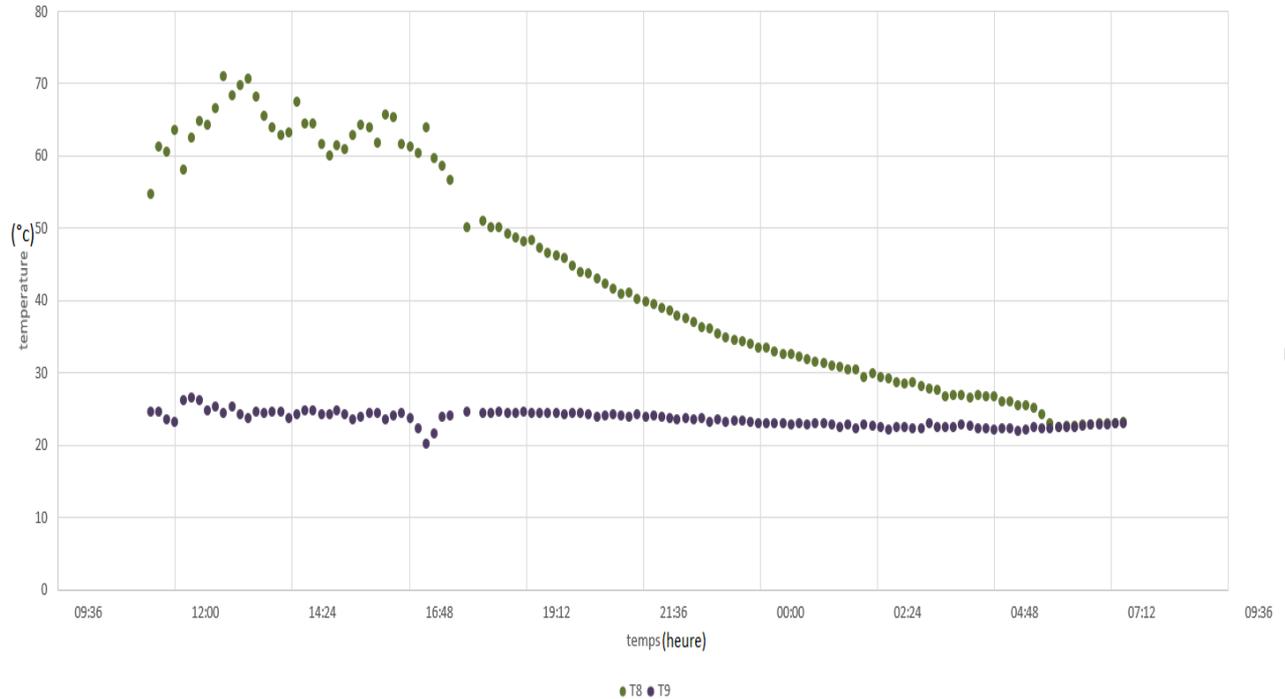


Figure (IV-14) : variation de la température d'entrée et sortie de capteur

IV-3-2) Deuxième débit :

Est pris dans la journée du **04 juin 2023** pour un débit de (0.015 kg/s)

IV-3-2-1. Analyse des résultats :

- **La figure (IV-15)** présente l'évolution de l'éclairement solaire global incliné sur la surface du capteur en fonction du temps. Avec un maximum de 1000 [W/m²] en milieu de journée, il est évident que la journée était bien éclairée à l'exception d'une période entre 15h13 et 16h13 où quelques valeurs minimales ont été enregistrées en raison d'un passage nuageux.

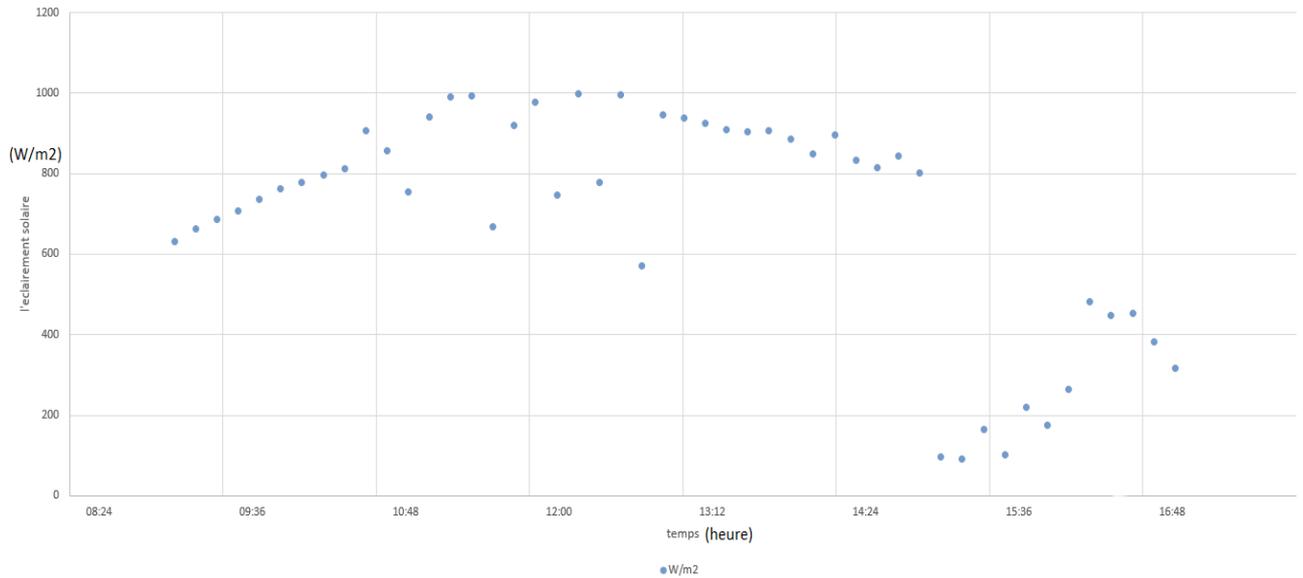


Figure (IV-15) : la variation de l'éclairement globale

- Les figures (IV-16), (IV-17) et (IV-18)** représentent la répartition de température des pierres pour chaque niveau (inférieur, milieu et supérieur) de lit de galets. On remarque que les trois courbes ayant la même allure. Au début de la journée, la différence de température des pierres à faible teneur a été observée à l'entrée du capteur parce que la diffusion de l'air n'est pas uniforme. À partir de 15h00, on a constaté que la différence de température de chaque niveau de lit des pierres est presque nulle, tandis que l'écart de température des pierres de niveau haut n'a pas changé durant la journée.

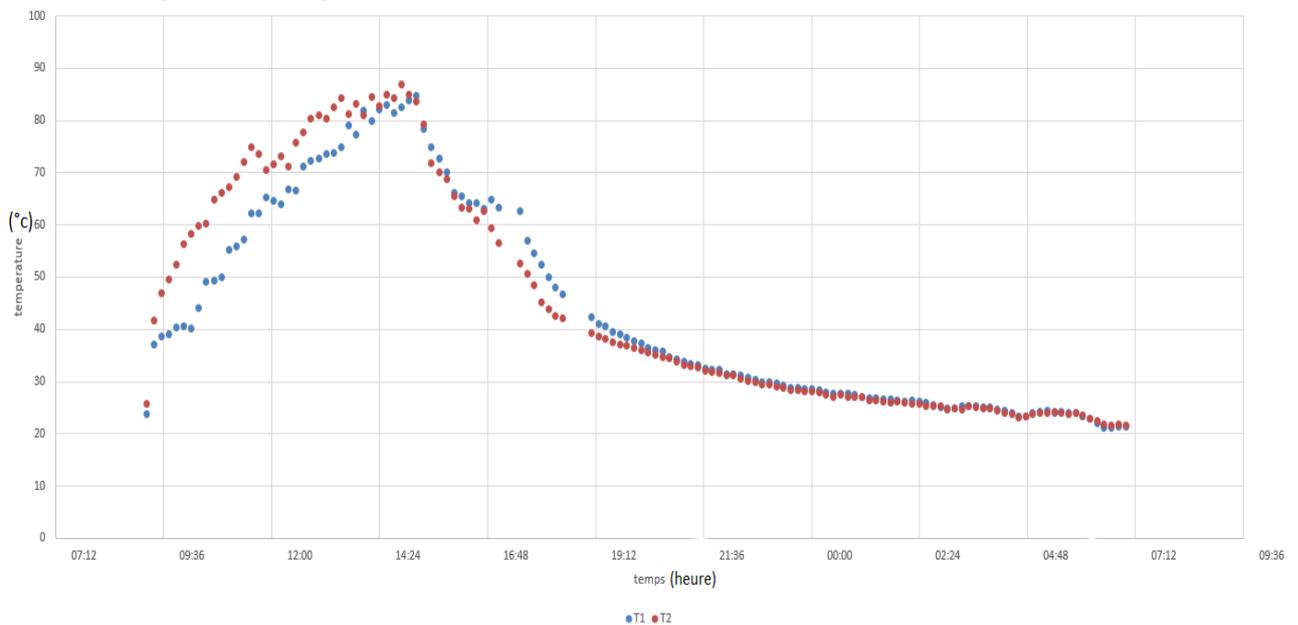


Figure (IV-16) : La variation de température entre les deux pierres sur le niveau inférieur

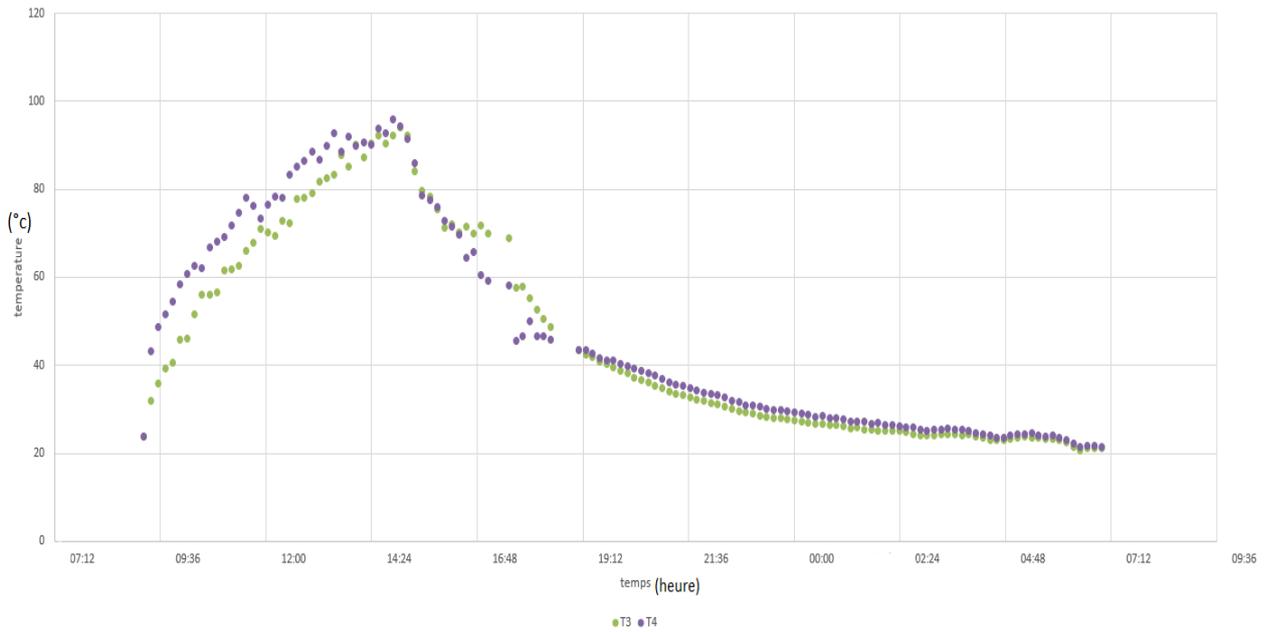


Figure (IV-17) : La variation de température entre les deux pierres au niveau du milieu

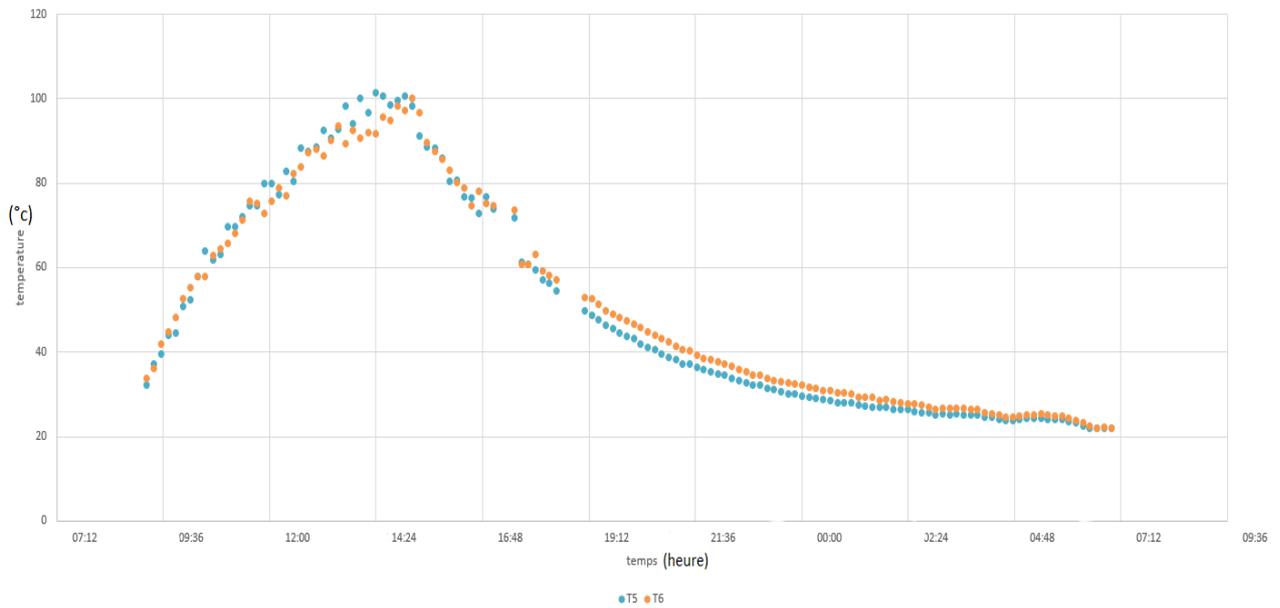


Figure (IV-18) : La variation de température entre les deux pierres sur le niveau supérieur

- La figure (IV-19)** représente la variation de température représente la variation de température des pierres entre les trois niveaux. On constate qu'on a la même allure avec une différence de température de 10 °c entre le niveau inférieur et le niveau supérieur à cause de la forme géométrique et l'emplacement des pierres.

On a noté également à partir de 18h (absence de l'éclairément) le phénomène de stratification entre les pierres des trois niveaux de lit de galets.

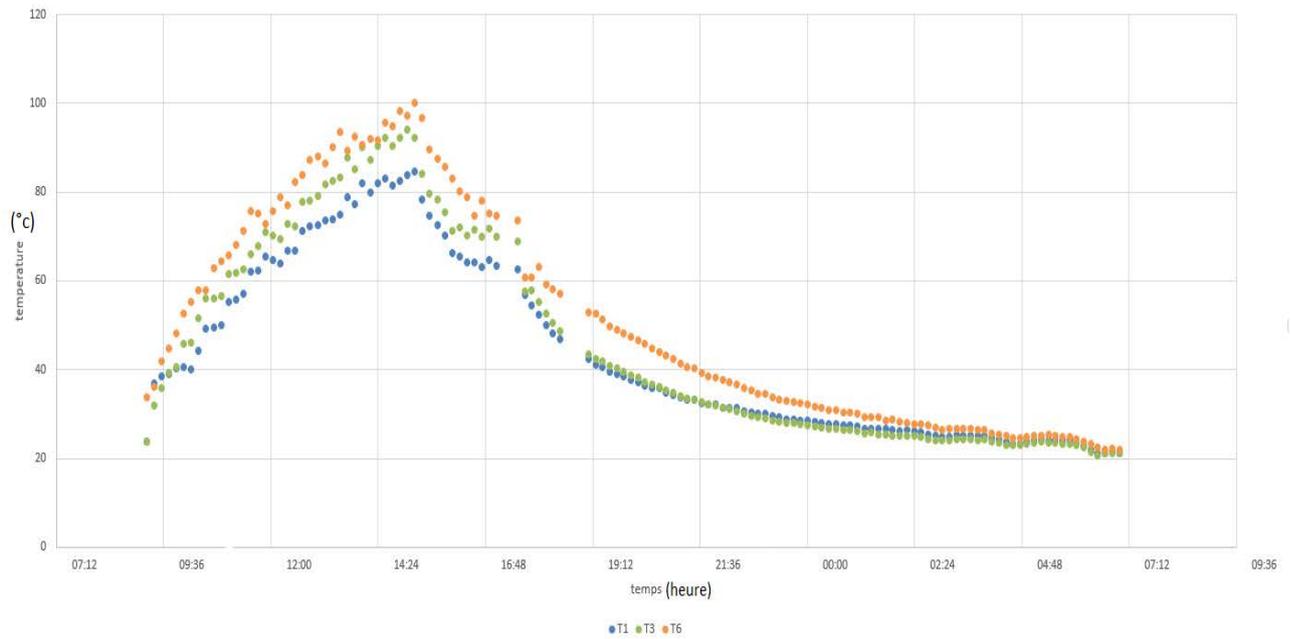


Figure (IV-19) : La variation de température des pierres entre les trois niveaux

- La variation de la température de l'air à l'intérieur du capteur est schématisée dans **La figure (IV-20)**. On constate qu'elle est séminaire par rapport à la température des pierres, avec une température maximale de 68.7 °c à 13h30 à rester pendant 2 heures, à partir de 18h00 la température a commencer à diminuer jusqu'à 6h00 de matin. Il est remarquable que les courbes présentent une pente significative en ce qui concerne la convection naturelle.

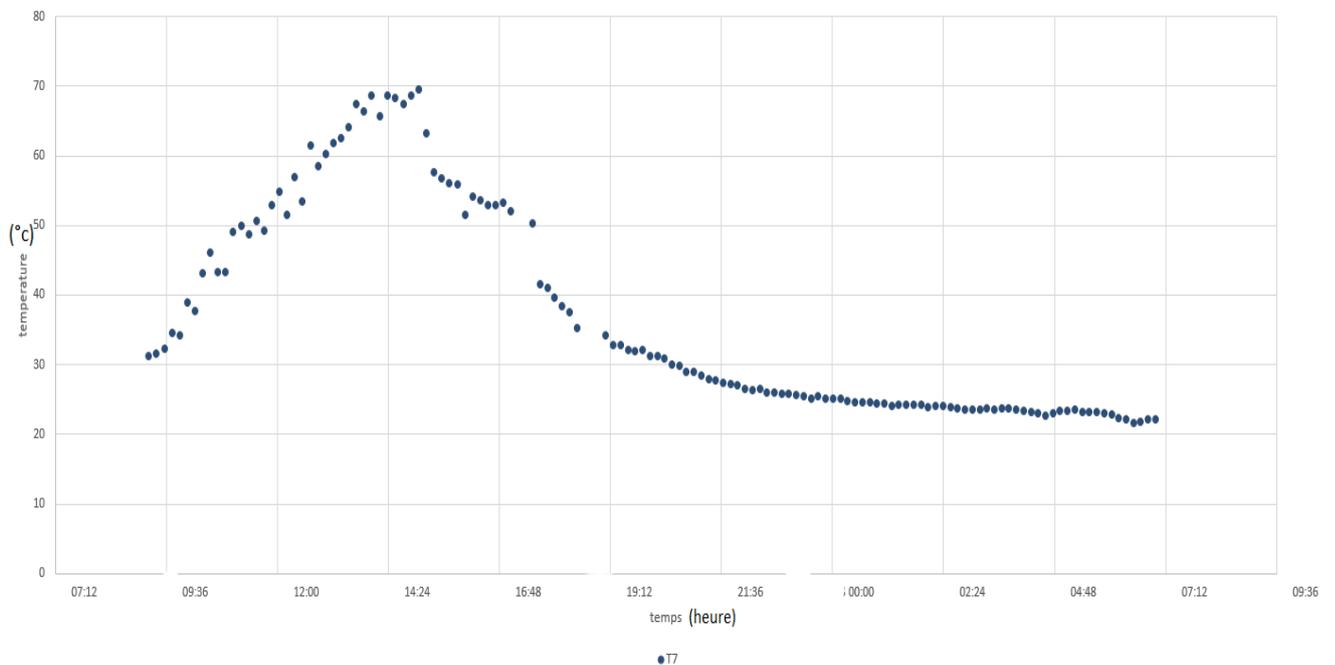


Figure (IV-20) : La variation de température à l'entier de capteur

- La figure (IV-21)** Affiche la différence de température entre l'entrée et la sortie du capteur solaire. La différence de température était de 6°C le matin, la température la plus élevée était de $78,7^{\circ}\text{C}$ à 13h00 La différence de température entre la sortie et la température ambiante est de $59,7^{\circ}\text{C}$, et la température la plus élevée est maintenue pendant 2 heures. A partir de 18h00 (pas de rayonnement solaire) la température baisse progressivement jusqu'à 6h30. Il est notable que la pente des courbes présente une forte inclinaison en ce qui concerne la convection naturelle.

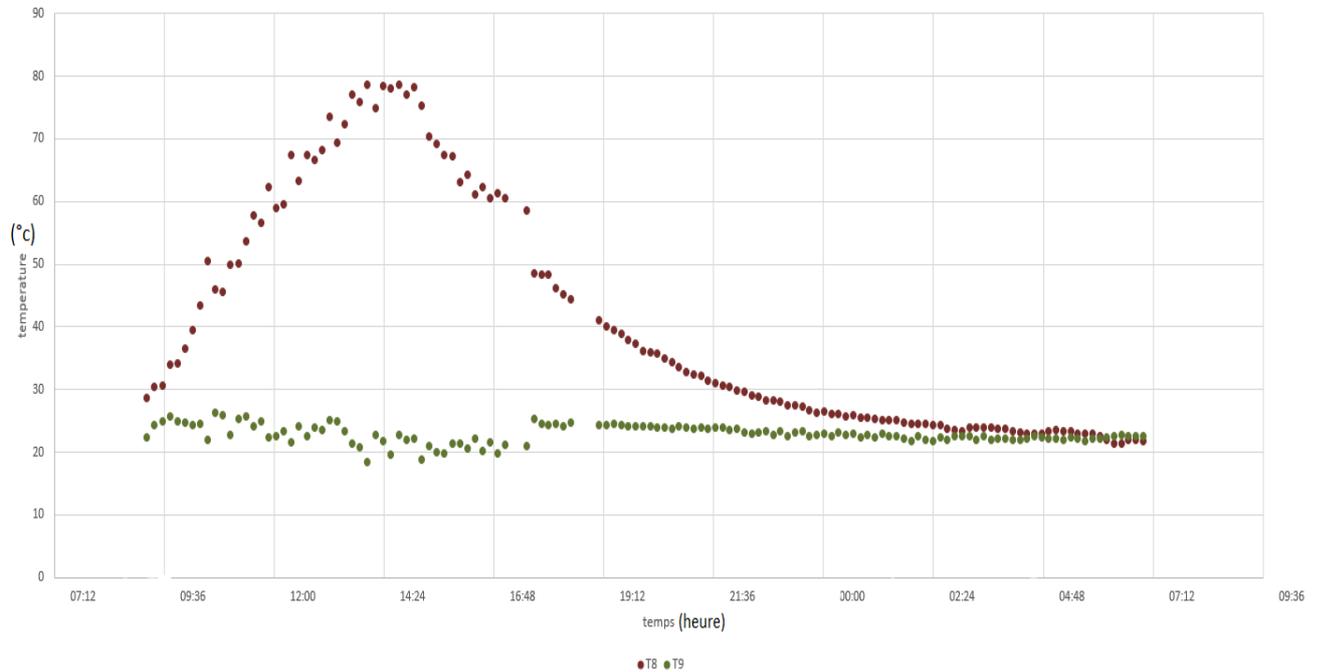


Figure (IV-21) : variation de la température d'entrée et sortie de capteur

IV-3-3) troisième débit :

Est pris dans la journée du **01 juin 2023** pour un débit de (0.025 kg/s)

IV-3-3-1) Analyse des résultats :

- La variation de l'éclairement solaire globale incliné en fonction du temps est présentée dans **La figure (IV-22)**. On constate que cette journée était bien éclairée on a enregistré une valeur maximale à 12h00 (948.11 w/m²).

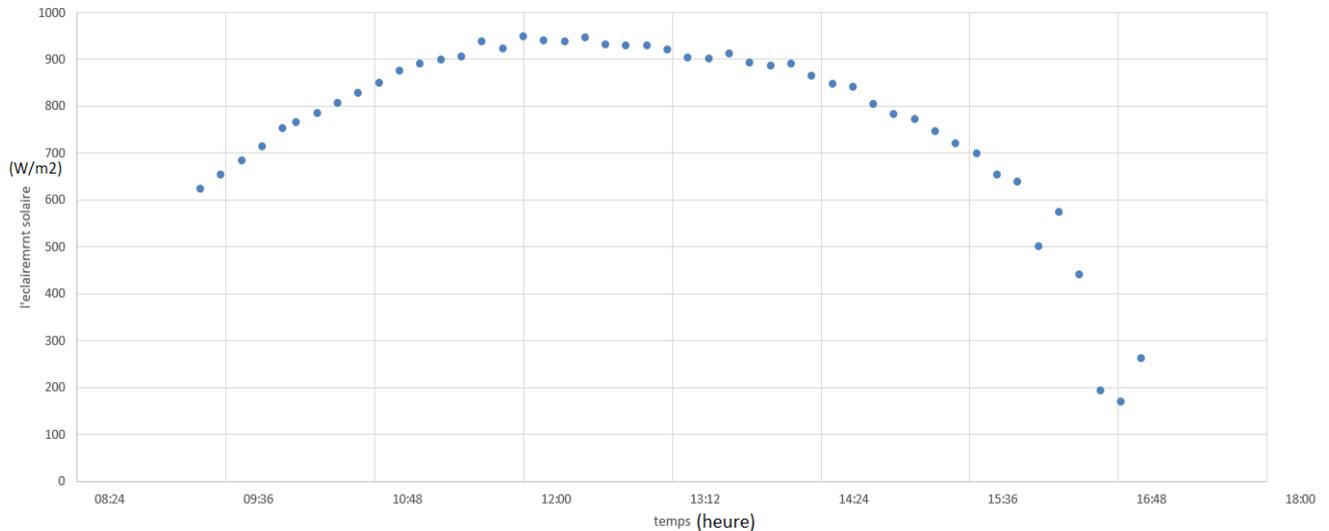


Figure (IV-22) : la variation de l'éclairement globale

- **Les figures (IV-23), (IV-24) et (IV-25)** expriment les profils de température des pierres pour chaque niveau (inférieur, milieu et supérieur), on a observé au début de la journée un écart de température des pierres pour le niveau bas de 15°C et le niveau moyen de 10°C à cause de la propagation de l'air qui n'est pas uniforme à l'entrée du capteur, à partir de 14h30 on a constaté que l'écart de température des pierres de chaque niveau est presque nulle.

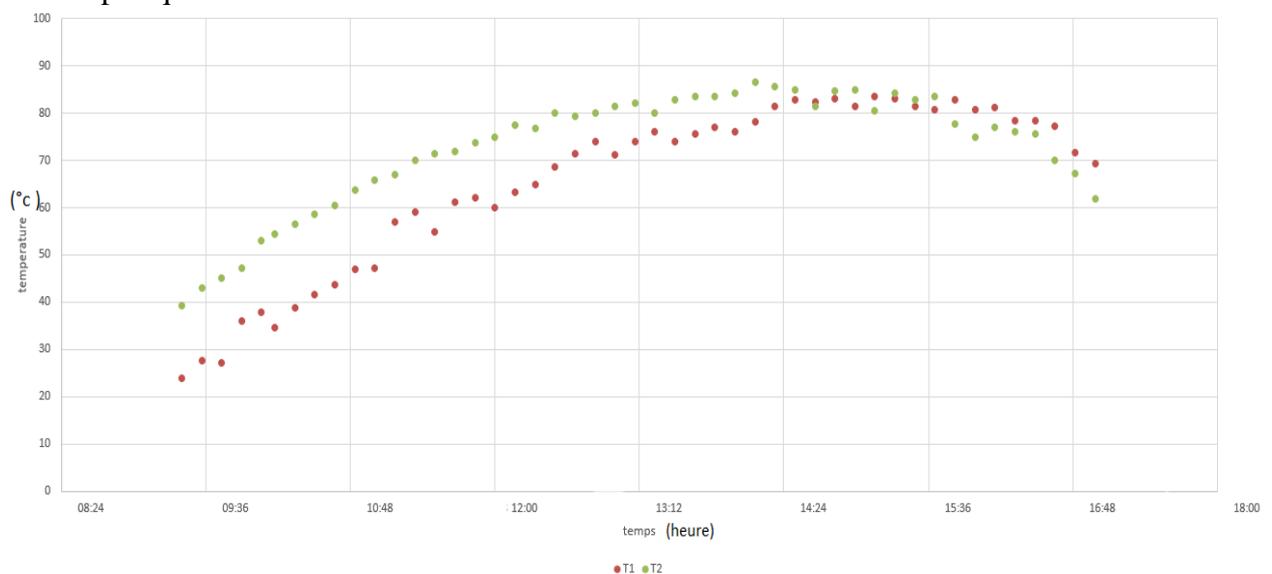


Figure (IV-23) : La variation de température entre les deux pierres sur le niveau inférieur

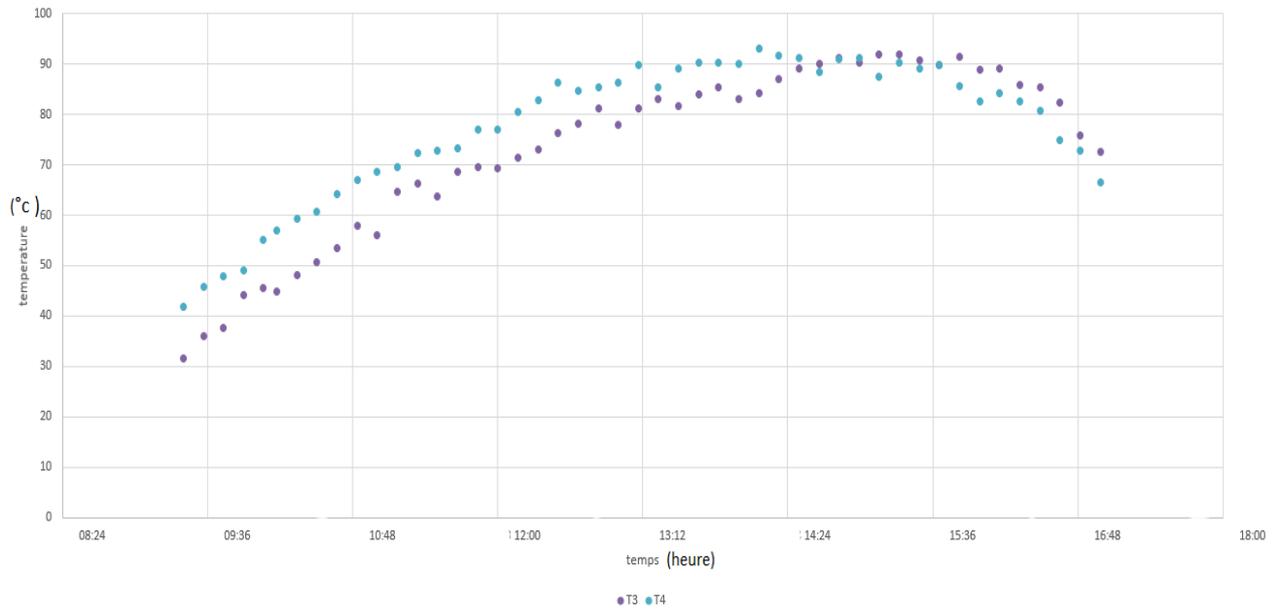


Figure (IV-24) : La variation de température entre les deux pierres au niveau du milieu

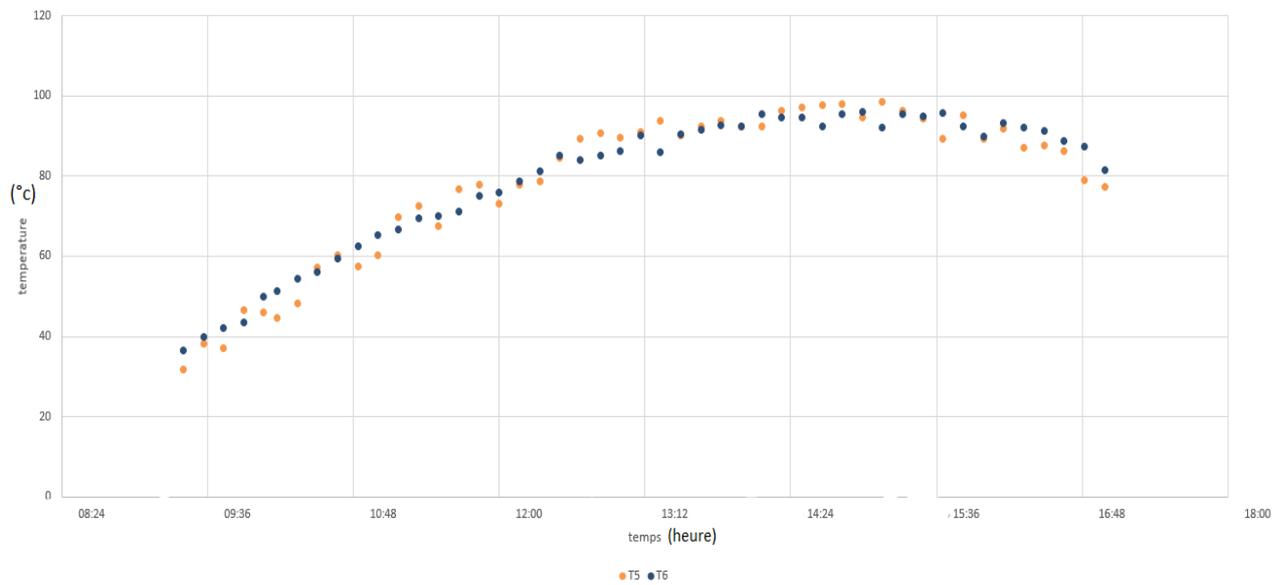


Figure (IV-25) : La variation de température entre les deux pierres sur le niveau supérieur

- La figure (IV-26)** montre la variation de température des pierres entre les trois niveaux, on remarque que les courbes ayant les mêmes allures et l'écart de température est presque le même sur chaque niveau au début de la journée. Mais à partir de 14h30, l'écart de températures entre les pierres de chaque niveau commence à augmenter jusqu'à la fin de la journée on observe que la température de niveau supérieur est toujours plus grand que les autres niveaux.

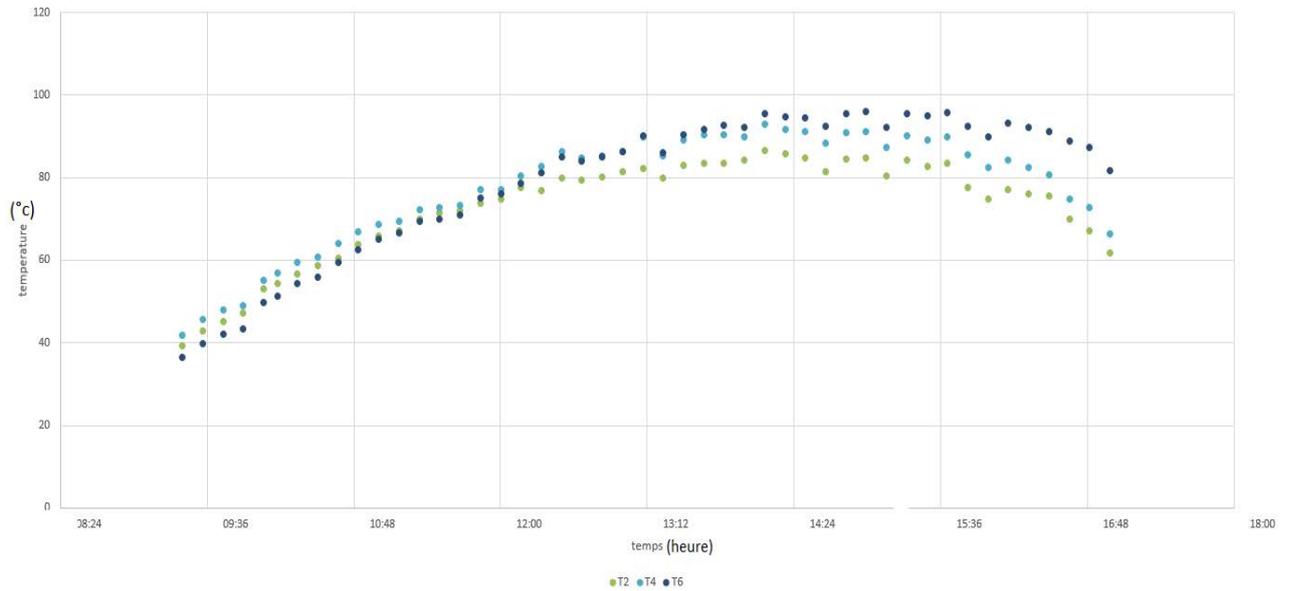


Figure (IV-26) : La variation de température des pierres entre les trois niveaux

- La variation de la température de l'air à l'intérieur du capteur est schématisée dans **La figure (IV-27)**. On constate qu'elle est séminaire par rapport à la température des pierres, avec une température maximale de 67.4 °c à 14h30.

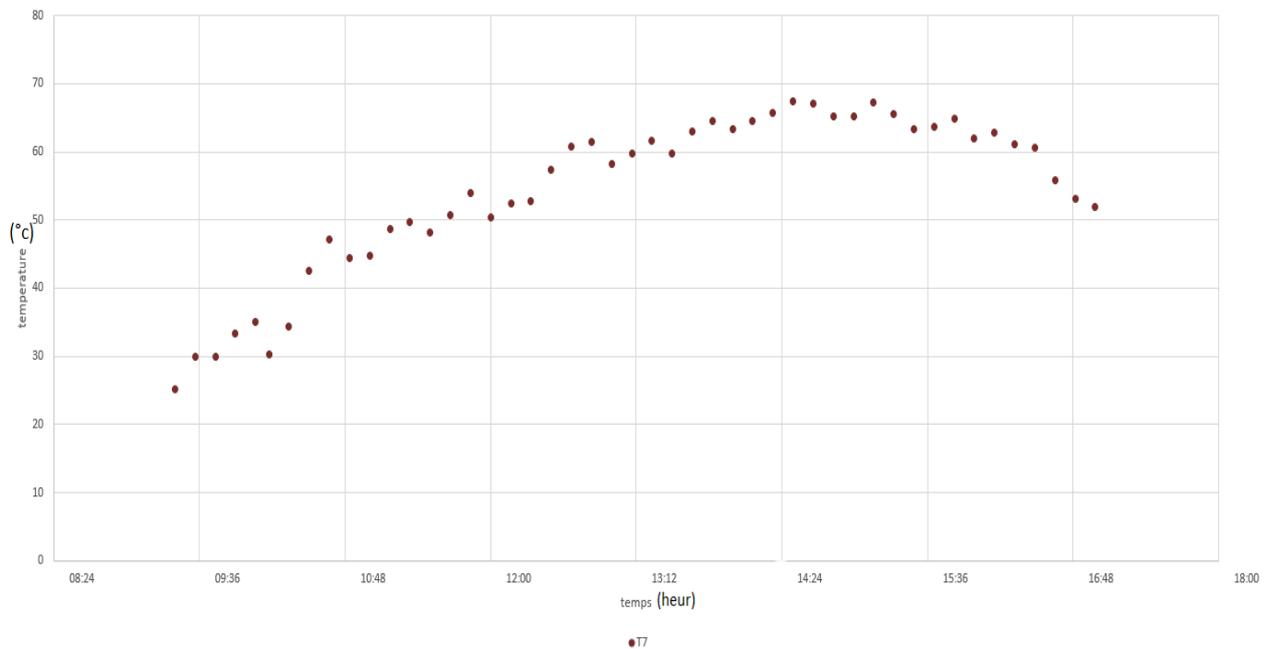


Figure (IV-27) : La variation de température à l'intérieur du capteur

- **La figure (IV-28)** présente la variation de températures entrée sortie, on remarque qu'il y a un écart de 10 °c dans la matinée et à 14h36 on a enregistré un pic de 76.5 °c donc l'écart entre la température d'entrée et la température de sortie est 54.5 °c. Nous avons remarqué que le maximum de l'éclairement solaire à 12h00. Par contre, la température maximale de sortie à 14h36. Ce ci, l'inertie des pierres lui permet de stabiliser la courbe de température, et à chaque fois qu'on a augmenté le débit de l'air l'écart entre le moment de pic de l'éclairement est le moment de pic de température diminué.

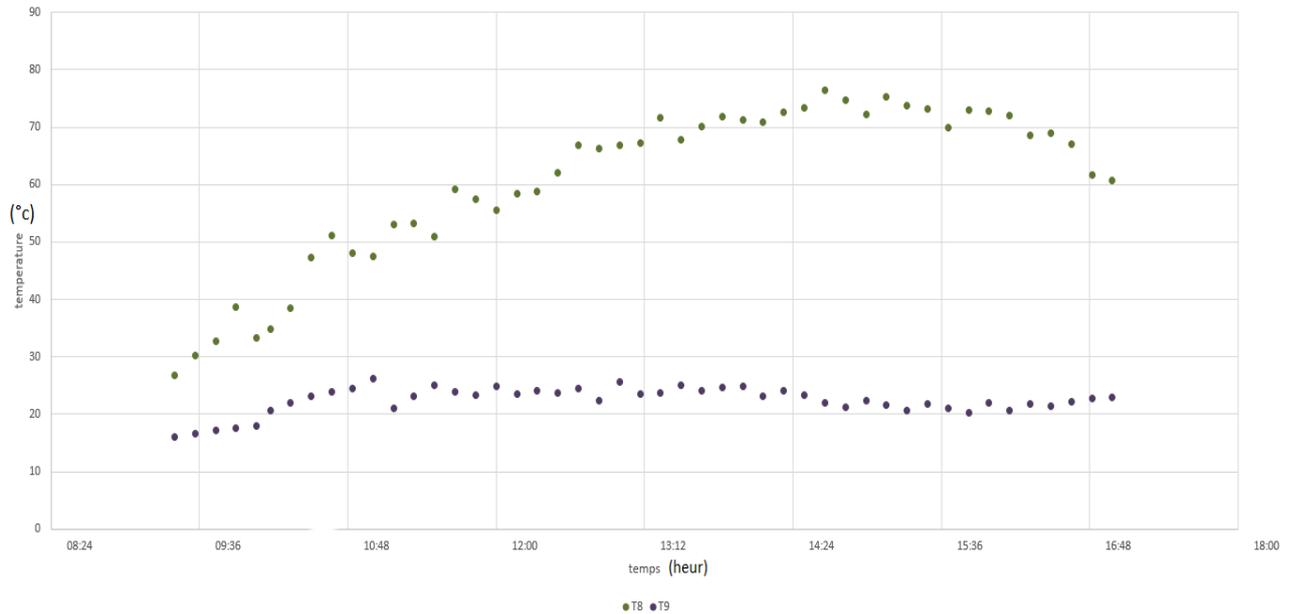


Figure (IV-28) : variation de la température d'entrée et sortie de capteur

IV-4) Rendement instantané :

$$\eta = \frac{\dot{m} c_p (T_s - T_e)}{I_g \cdot A_c}$$

A_c : est la surface du capteur = 1.94m²

I_g : l'éclairement solaire global

C_p : chaleur spécifique = 1004 j/kg.k

\dot{m} : le débit = 0.025 kg/s

T_s : température de sortie

T_e : température d'entrée(ambiante)

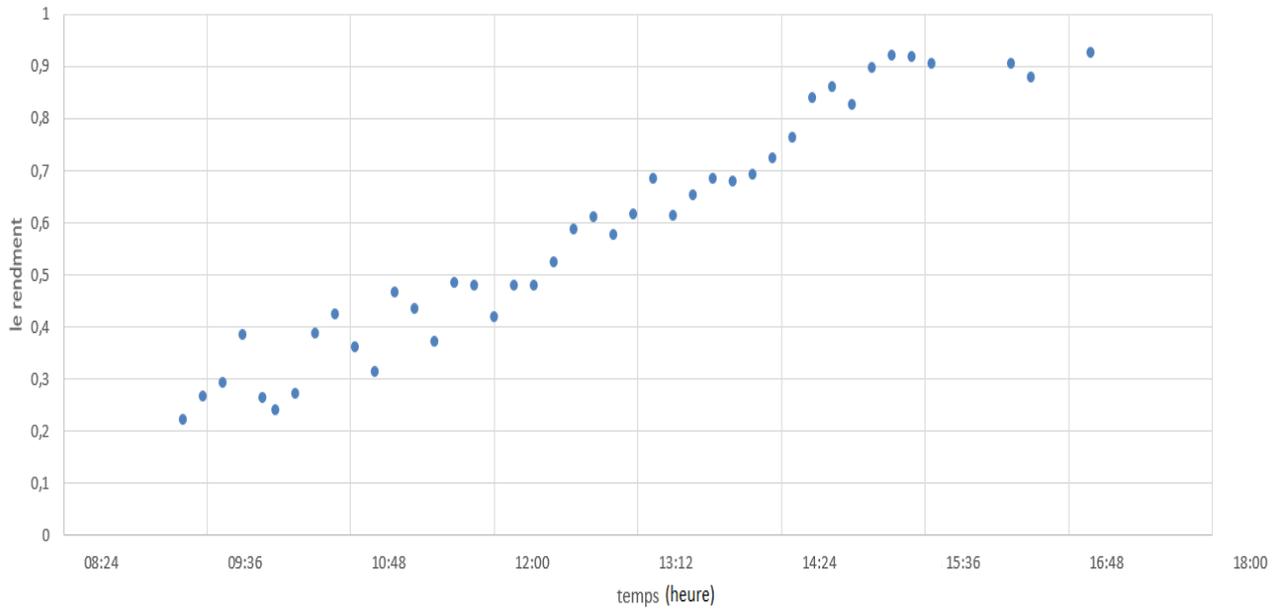


Figure (IV-29) : variation du rendement instantané

IV-4-1. Analyse des résultats :

Le rendement instantané du capteur est représenté par **La figure (IV-29)** durant la journée de **01 juin 2023**, avec un débit de (0.025 kg/s). On remarque que le rendement de capteur solaire est augmenté durant la journée qui atteint sa valeur maximale à la fin de la journée on a enregistré environ de 90% .

IV-5) Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté les principaux résultats expérimentaux des différents éléments du capteur, de l'éclatement global, de la température d'entrée et de sortie, la température des galets sur chaque niveaux (inférieur, milieu est supérieur) et la température à l'intérieur du capteur. 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 de température entre les deux pierres de niveau inférieur, mais pas le même cas dans le niveau supérieur.
- La température des certaines pierres mesurées a dépassé 100°C.
- Le rendement de ce capteur ne dépend pas à l'éclairement global car le rendement a atteint sa valeur maximale à la fin de la journée.

Conclusion générale

Cette étude et réalisation d'un capteur à air auto-stockeur représente une avancée significative dans le domaine des systèmes de stockage de l'énergie solaire. Le concept d'utiliser des pierres (galets) comme matériau de stockage thermique s'est révélé prometteur, offrant des avantages tels qu'une capacité thermique élevée, une conservation efficace de la chaleur et une libération régulée lorsque nécessaire.

Les résultats expérimentaux ont démontré l'efficacité de ce capteur à air auto-stockeur, notamment en termes de performance énergétique et de stabilité thermique. Les tests ont confirmé que le système est capable de stocker l'énergie solaire pendant de longues périodes et de la libérer de manière contrôlée, permettant ainsi une utilisation continue de l'énergie thermique même en l'absence d'un ensoleillement direct.

En conclusion, cette expérience démontre l'efficacité du capteur solaire à air auto-stockeur utilisant les galets comme matériau de stockage thermique. Les résultats indiquent que :

- l'évacuation de la chaleur vers l'espace a chauffé ce fait en faisant circuler l'air a chauffé de bas en haut.
- L'avantage de ce 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.

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 recherches que nous avons menées pourront être affinées dans le futur en tenant compte des points suivants :

- Ajouter un diffuseur à l'entrée de capteur pour que la diffusion de l'air devienne uniforme à l'entrée du capteur.
- Optimiser la distance entre l'absorbeur et le vitrage.
- Combiné entre un capteur a air avec un absorbeur est ce capteur qu'on a étudié, pour donner des résultats plus amélioré.

Bibliographie

- [1] **J.M Chassériaux**, Conversion thermique du rayonnement solaire ; Dunod, 1984.
- [2] **R. Bernard ; G. Menguy ; M. Schwartz**, Le rayonnement solaire conversion thermique et Applications ; Technique et documentation Lavoisier, 2 ème édition 1980.
- [3] **J. Bernard, Energie solaire ; Calcul et Optimisation**. Ellipses Edition Marketing S. A. Paris
(2004).
- [4] **P. H. Communay**, Héliothermique Le gisement solaire Méthodes et calculs. Groupe de Recherche et d'Édition France (2002).
- [5] http://www.lamap.fr/bdd_image/380_dossier_energie_solaire.pdf (consulté mois du Mars 2010)
- [6] **S. Saadi**, Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire Plan, Mémoire de Magister en physique ; UMC, 2010.
- [7] **P. H. Communay**, Héliothermique Le gisement solaire Méthodes et calculs. Groupe de Recherche et d'Édition France (2002).
- [8] **Y. N'goran**, Contribution à la modélisation du gisement solaire. Thèse de doctorat, Université de Cocody Abidjan (2005)
- [9] **A. Labouret, M. Viloz**, Energie solaire photovoltaïque. Dunod, 2e édition, Paris (2005).
- [10] **A. A. Sfeir, G. Guarracino**, Ingénierie des Systèmes Solaire, application à l'habitat. Technique et Documentation, Paris (1981).
- [11] <http://books.openedition.org/pucl/626#tocfrom2n4>
- [12] **U, Eiker**. Solar technologies for buildings, John Wiley and Sons, England. (2001).
- [13] **E/ D. Semmar , S. Betrouni et D. Lafri** , Revue. Energie. Renouvelable au CDER Bouzaréah, Alger 1998 : Etude et Réalisation d'un Capteur Solaire à Air
- [14] <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeux-et-prospective/decryptages/climat-environnement-et-economie-circulaire/stockage-denergie>
- [15] <https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/chauffe-eau-solaire/fonctionnement-chauffe-eau-solaire>