

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie mécanique

Spécialité : Energies renouvelables

Par:

BENSAID MOHAMMED SALIM

NABI FAROUK

Sujet

Réalisation expérimentale et analyse énergétique et exergetique d'un capteur solaire à air à plaque lisse et ondulée

Soutenu publiquement, le 06/06/2023, devant le jury composé de :

M GHERNAOUT MEA	Pr	Université de Tlemcen	Président
Mme MOSTEFAOUI Amina	MCB	Université de Tlemcen	Examinatrice
M GUELLIL Hocine	MCA	Université de Tlemcen	Encadreur
M KORTI Nabil Abdelilah	Pr	Université de Tlemcen	Co-Encadreur

Année universitaire: 2022 /2023

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تصميم مستشعر شمسي للهواء يعمل بوجود ممتصين مختلفين: ممتص مسطح وممتص متموج، تحت إشعاع ثابت ينبع من مصدر حراري اصطناعي يتم تصنيعه أيضاً في المختبر. تتمحور الدراسة حول مقارنة الأداء الطاقوي والإكزرجي للمستشعر. تم إجراء الاختبارات تحت إشعاع وتدفق هواء ثابتين، مع تعديل البعد بين الممتص والزجاج.

أظهرت النتائج تفوق الممتص المتموج على الممتص المسطح من حيث الكفاءة الحرارية. ومع ذلك، يؤدي البعد بمسافة 6 سم بين الممتص والزجاج إلى كفاءة حرارية قصوى تبلغ 81% و44% على التوالي للممتص المتموج والمسطح. فيما يتعلق بالكفاءة الإكزرجية وبنفس الفجوة، فقد تفوق الممتص المتموج بشكل واضح على الممتص المسطح، بقيم تبلغ على التوالي 82% و67%.

باختصار، يعزز الشكل المتموج للممتص من جهة، زيادة سطح التبادل، مما ينعكس على أداء أفضل فيما يتعلق بامتصاص الطاقة الشمسية، ومن ناحية أخرى، يتسبب في تولد توربولانسي للهواء مما يحسن الأداء الإكزرجي للمستشعر الشمسي.

ساهمت النتائج في تحديد نوع الممتص الأكثر أداءً وتحسين تصميم الألواح الشمسية للهواء.

الكلمات المفتاحية: مستشعر شمسي ذو مرور مزدوج، لوحة ممتصة، كفاءة حرارية، طاقة، إكزرجي، إشعاع شمسي

Abstract

The objective of this work is to create an air-based solar sensor that operates with two distinct absorbers: a flat absorber and a corrugated absorber, under constant radiation from an artificial thermal source also fabricated in the laboratory. The study focuses on comparing the energy and exergy performances of the sensor. The tests were conducted under fixed radiation and air flow rates while varying the gap between the absorber and the glazing.

The results have demonstrated the superiority of the corrugated absorber over the flat absorber in terms of thermal efficiency. However, the 6 cm gap between the absorber and the glazing results in a maximum thermal efficiency of 81% and 44% for the corrugated and flat absorbers, respectively. In terms of exergy efficiency and for the same gap, the corrugated absorber significantly outperforms the flat absorber, with respective values of 82% and 67%.

In summary, the corrugated shape of the absorber promotes, on one hand, an increase in the surface area for heat exchange, leading to better performance in terms of solar energy absorption. On the other hand, it induces air turbulence, which enhances the exergy performance of the solar sensor.

The results have allowed for the determination of the most efficient absorber type and the optimization of air-based solar panel design.

Keywords: Double-pass solar sensor, absorber plate, thermal efficiency, energy, exergy, solar radiation.

Résumé

L'objectif de ce travail vise à réaliser un capteur solaire à air fonctionnant avec deux absorbeurs distincts : un absorbeur plat et un absorbeur ondulatoire, sous un rayonnement constant issu d'une source thermique artificielle fabriquée aussi au laboratoire. L'étude s'articule sur la comparaison des performances énergétiques et exergetiques du capteur. Les tests ont été réalisés sous un rayonnement et un débit d'air fixes, tout en en modifiant l'écart entre l'absorbeur et le vitrage.

Les résultats obtenus ont mis en évidence une supériorité de l'absorbeur ondulatoire par rapport à l'absorbeur plat en termes d'efficacité thermique. Toutefois, l'écart de 6 cm entre l'absorbeur et le vitrage entraîne une efficacité thermique maximale de 81 et 44 % respectivement pour l'absorbeur ondulé et plat. En terme d'efficacité exergetique et pour le même écart, l'absorbeur ondulatoire a nettement surpassé l'absorbeur plat, avec des valeurs respectives de 82 et 67%.

En résumé, la forme ondulatoire de l'absorbeur favorise d'une part, une augmentation de la surface d'échange, ce qui se traduit par une meilleure performance en termes de captation de l'énergie solaire et d'autre part, elle induit une turbulence de l'air qui améliore les performances exergetiques du capteur solaire.

Les résultats ont permis de déterminer le type d'absorbeur le plus performant et d'optimiser la conception des panneaux solaires à air.

Mots clés: capteur solaire double passe, plaque absorbante, rendement thermique, énergie, exergetie, rayonnement solaire.

Remerciements

Tout d'abord, merci pour le grand Dieu qui nous a donné la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail. Au cours de ce travail, on a été encadrés par Monsieur **GUELLIL HOCINE**, et par Monsieur **KORTI NABIL** nous tenons à les remercier pour avoir proposé et dirigé ce travail et pour leurs supports, conseils et leur encouragement, tout le long du travail. Sans oublier mes collègues, notre petite famille de travail **BEDI HICHAM** et **BELBACHIR OUSSAMA, KACIMI AHLEM**.

Nos sincères remerciements vont au président et membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter d'examiner ce travail : Monsieur **GUERNOUAT AMIN**, Professeur à l'Université de Tlemcen, ainsi qu'à Madame **MOUSTFAOUI AMINA**,

Que toute personne ayant contribué de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail trouve ici le témoignage de notre profonde reconnaissance

Dédicace

"يا رب لك الحمد حتى ترضى، ولك الحمد إذا رضيت ولك الحمد بعد الرضا."

Avec l'aide de dieu tout puissant, j'ai pu achever ce modeste travail.

Je dédie ce travail à:

Mes très chers parents, pour leur soutien et tous les efforts qu'ils m'ont donné le long de mon parcours et je leurs souhaite bonne santé et longue vie.

A mes chères sœurs.

A toute la famille BENS Aid et BEKKHALED.

A mes très chers amis et mes proches : SOUAD, ZAID et NASSIM

A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien et la prospérité de l'humanité.

BENS Aid MOHAMMED SALIM

Dédicace

Avec toute ma gratitude, je dédie humblement ce travail :

À mes chers parents, quelle que soit ma parole ou mon geste, je ne saurais vous remercier à la hauteur de ce que vous méritez. Votre amour sincère me couvre, votre bienveillance éclairée me guide, et votre présence à mes côtés a toujours été ma source de force face aux divers obstacles.

À mon petit ange Farah, pour son soutien inestimable. Que Dieu lui accorde une vie pleine de joie et de bonheur.

À mon cher ami SAIDANI Adel, qui m'a apporté son soutien moral et intellectuel tout au long de mon parcours.

À mes chers amis, pour leur soutien inconditionnel.

À toute ma famille, que Dieu leur accorde une vie longue et remplie de bonheur.

NABI Farouk

SOMMAIRE

ملخص	i
Abstract	ii
Résumé	iii
Remerciements	iv
Dédicace	v
Dédicace	vi
SOMMAIRE	vii
NOMENCLATURE	ix
LISTE DES FIGURES	x
LISTE DES TABLEAUX	xii
INTRODUCTION GENERALE	1
I. Chapitre I Généralités sur les capteurs solaires	3
I.1 Introduction	4
I.2 Energie solaire	4
I.2.1 Rayonnement solaire	5
I.2.2 Composant de rayonnement solaire	6
I.2.3 Energie solaire thermique	7
I.3 Capteur solaire thermique	8
I.3.1 Corps noir	8
I.3.2 Le fluide caloporteur	9
I.3.3 Effet de serre	9
I.4 Types des capteurs solaires	10
I.4.1 Capteur non vitré	10
I.4.2 Capteur solaire sous vide	11
I.4.3 Capteur solaire vitré	12
I.5 Transfert de chaleur	15
I.5.1 Conduction	16
I.5.2 Convection	16
I.5.3 Rayonnement	17
I.6 Conclusion	17
II. Chapitre II Recherche bibliographique	18

II.1	Introduction	19
II.2	Etude bibliographique	19
II.3	Conclusion.....	34
III.	35
III.	Chapitre III Procédure expérimentale.....	35
III.1	Introduction	36
III.2	Construction expérimentale de l'absorbeur.....	36
III.3	Appareils de mesures.....	40
III.3.1	Contrôleur d'incubateur XM18D XM-18D	40
III.3.2	Solarimètre	41
III.3.3	Débitmètre, Thermo-anémomètre digital 9160SI.....	42
III.3.4	LabVIEW	43
III.3.5	Thermocouple.....	44
III.4	Étalonnage et précision des capteurs	44
III.4.1	Résultats d'étalonnage.....	45
III.5	Protocole expérimental.....	47
III.6	Analyse la performance thermique.....	49
III.6.1	Analyse énergétique	49
III.6.2	Analyse exergétique	50
III.7	Conclusion.....	50
IV.	Chapitre IV Résultats et discussion.....	52
IV.1	Introduction	53
IV.2	Conclusion.....	69
	CONCLUSION GENERALE	70
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	72
	ملخص.....	75
	Abstract	76
	Résumé.....	77

NOMENCLATURE

Φ : Puissance transférée (w/m^2).

S : Surface perpendiculaire au flux thermique (m^2).

$\frac{dt}{dx}$: Le gradient de température au point x considéré.

S : Surface traversée ou de contact solide-fluide (m^2).

T_s - T_{inf} : Température de la surface et moyenne du fluide (k).

H : Coefficient moyenne de transfert convectif ($\text{w.m}^{-2}\text{.k}^{-1}$).

T : Température absolue du corps considéré (K).

σ : Constante de Stefan-Boltzmann = $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/ (m}^2\text{.K}^4)$.

A : Surface du corps noir (m^2).

\dot{m} : Débit massique (m^3/s).

EX_{out} : Exergie à la sortie de collecteur (kJ).

EX_{in} : Exergie à l'entrée de collecteur (kJ).

h_{out} : Enthalpie à la sortie de collecteur (J).

h_{in} : Enthalpie à l'entrée de collecteur (J).

S_{out} : Entropie à la sortie de collecteur (J.K^{-1}).

S_{in} : Entropie à l'entrée de collecteur (J.K^{-1}).

Q_s : Energies solaire absorbé par le capteur (W/m^2).

α : Coefficient absorption de corps noir.

τ : Facteur de transmission de vitrage.

LISTE DES FIGURES

Fig. I.1. Illustration de la structure du soleil [2].....	5
Fig. I.2. Spectre solaire [4].....	6
Fig. I.3. représentation des différents rayonnements solaires terrestres reçus [6].....	7
Fig. I.4. Modèle théorique du corps noir[9].....	8
Fig. I.5. Principe de l'effet de serre[11].....	10
Fig. I.6. Capteur solaire non vitré[14].....	11
Fig. I.7. Capteur solaire sous vide [16].....	12
Fig. I.8. Capteur solaire vitré [18].....	13
Fig. II.1. Disposition des obstacles DCL. [29].....	21
Fig. II.2. Disposition des obstacles OCL. [29].....	21
Fig. II.3. Capteur muni d'obstacles TL. [29].....	21
Fig. II.4. Configuration de l'absorbeur avec des chicane en forme d'aile delta courbée longitudinalement. [30]....	22
Fig. II.5. Capteur solaire à air réalisé. [31].....	23
Fig. II.6. Dispositif expérimental. [32].....	24
Fig. II.7. Différents types des modes étudiées. [33].....	25
Fig. II.8. Disposition des chicane et géométrie de passage d'air. [34].....	26
Fig. II.9. Effet du flux d'air sur l'efficacité journalière du capteur, avec et sans utilisation d'ailettes pour les mois de janvier, février et mai. [34].....	27
Fig. II.10. Caractéristiques géométriques de chicanes longitudinales. [35].....	28
Fig. II.11. Le capteur curviligne étudié avant et après la préparation. [36].....	29
Fig. II.12. La forme de l'efficacité thermique pour les trois capteurs. [38].....	30
Fig. II.13. Maillage des 02 modèles étudiés. [39].....	31
Fig. II.14. Schéma d'un capteur solaire thermique à double passe avec des milieux poreux dans le deuxième canal. [41].....	33
Fig. III.1. Caisson et support d'absorbeur	
Fig. III.2. Rôle des tirants métalliques.....	37
Fig. III.3. Absorbeur plat en noir mate.....	37
Fig. III.4. Absorbeur ondulé en noir mate.....	38
Fig. III.5. Coupage du verre	
Fig. III.6. Vitrage au-dessus de l'absorbeur.....	38
Fig. III.7. Montage du ventilateur à la sortie du panneau.....	39
Fig. III.8. Support du capteur solaire	
Fig. III.9. Source thermique artificielle.....	40
Fig. III.10. Contrôleur d'incubateur XM18D XM-18D.....	41

Fig. III.11. Solarimètre pour mesure de rayonnement.....	42
Fig. III.12. Débitmètre, thermo-anémomètre digital 9160SI.....	43
Fig. III.13. Capteurs thermocouple de type K	
Fig. III.14. Présentation de l'expérience d'étalonnage	45
Fig. III.15. Divergence du capteur 13	46
Fig. III.16. Divergence du capteur 5 après 1750 s	46
Fig. III.17. Légère divergence du capteur 1	47
Fig. III.18. Emplacement des capteurs sur absorbeur	
Fig. III.19. Distance entre soleil et absorbeur	48
Fig. III.20. Source thermique et absorbeur en parallèle durant l'expérience.....	49
Fig. IV.1. Exemple de l'évolution temporelle de différentes températures lors d'un premier essai	54
Fig. IV.2. Evolution temporelle de la température moyenne de l'absorbeur plat selon les écarts 12, 9, 6 et 3 cm du vitrage.....	55
Fig. IV.3. Evolution temporelle des températures moyennes de l'absorbeur plat et ondulé selon les écarts 12, 9, 6 et 3 cm du vitrage.....	56
Fig. IV.4. Evolution temporelle des différences de température pour l'absorbeur plat et l'absorbeur ondulé selon les écarts 12, 9, 6 et 3 cm du vitrage	57
Fig. IV.5. Evolution temporelle des différences de température selon le meilleur écart de l'absorbeur plat (6cm) et les écarts 12, 9, 6 et 3cm de l'absorbeur ondulé	58
Fig. IV.6. Evolution temporelle des différences de température de l'absorbeur plat pour les écarts 12, 9, 6 et 3 cm de la partie inférieure et supérieure du panneau.....	59
Fig. IV.7. Evolution temporelle de la différence de température pour l'absorbeur plat et l'absorbeur ondulé selon les écarts 12, 9, 6 et 3cm inférieur et supérieur.....	61
Fig. IV.8. Evolution temporelle de l'énergie pour l'absorbeur plat et ondulé selon les écarts 12, 9, 6 et 3 cm du vitrage.....	63
Fig. IV.9. Evolution temporelle de l'énergie pour l'absorbeur ondulé selon les écarts 12, 9, 6 et 3cm du vitrage et pour 6cm d'écart utilisé pour l'absorbeur plat.....	64
Fig. IV.10. Evolution temporelle du rendement pour l'absorbeur plat et ondulé selon les écarts 12, 9, 6 et 3 cm du vitrage.....	65
Fig. IV.11. Evolution temporelle du rendement pour l'absorbeur ondulé selon les écarts 12, 9, 6 et 3cm du vitrage et pour 6cm d'écart utilisé pour l'absorbeur plat.....	66
Fig. IV.12. Evolution temporelle du rendement exergetique pour l'absorbeur plat et ondulé selon les écarts 12, 9, 6 et 3 cm du vitrage.....	67
Fig. IV.13. Evolution temporelle du rendement exergetique pour l'absorbeur ondulé selon les écarts 12, 9, 6 et 3cm du vitrage et pour 6cm d'écart utilisé pour l'absorbeur plat.....	68

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Matériaux utilisés comme absorbeurs [21]	14
Tableau III.1: Les Caractéristiques Des Types Des Thermocouples	44

INTRODUCTION GENERALE

L'énergie solaire est devenue l'un des domaines les plus prometteurs de l'industrie énergétique, offrant une solution durable et renouvelable pour répondre à nos besoins croissants en électricité. Parmi les technologies solaires, les capteurs solaires jouent un rôle essentiel dans la conversion de la lumière solaire en énergie utilisable. Ces capteurs sont conçus pour absorber la lumière solaire et la convertir en chaleur ou en électricité, offrant ainsi une source d'énergie propre et abondante.

Le développement de capteurs solaires efficaces et performants est crucial pour maximiser l'utilisation de l'énergie solaire et réduire notre dépendance aux combustibles fossiles. L'amélioration des performances énergétiques des capteurs solaires est un objectif clé de la recherche dans ce domaine, car elle permet d'augmenter le rendement de conversion de l'énergie solaire et d'optimiser l'utilisation des ressources disponibles.

Dans notre thèse, nous avons entrepris une étude approfondie en abordant quatre chapitres clés :

Le premier chapitre offre une vue d'ensemble sur les capteurs solaires à air, en mettant en évidence leur importance dans le domaine de l'énergie renouvelable. Nous examinons les principes de fonctionnement, les avantages et les applications de ces capteurs, fournissant ainsi un contexte solide pour la suite de notre travail.

Le deuxième chapitre se concentre sur une recherche bibliographique approfondie. Nous avons exploré les travaux antérieurs, les études et les avancées réalisées dans le domaine des capteurs solaires à air. Cette étape cruciale nous a permis de comprendre les lacunes existantes, les défis et les opportunités de recherche, tout en nous aidant à situer notre travail par rapport aux travaux existants.

Le troisième chapitre décrit les procédures expérimentales que nous avons mises en place pour la réalisation de notre capteur solaire à air. Nous détaillons les matériaux utilisés, les dimensions et la configuration de notre dispositif, ainsi que les méthodes de mesure et les paramètres expérimentaux que nous avons pris en compte. Cette section fournit un aperçu précis du processus de fabrication de notre capteur solaire à air, garantissant la reproductibilité de nos résultats.

Enfin, le quatrième chapitre de notre thèse est consacré à la présentation et à la discussion des résultats obtenus au cours de notre étude approfondie sur les capteurs solaires à air. Dans cette section, nous examinons attentivement les données expérimentales recueillies, en mettant en évidence les performances des deux types de capteurs solaires étudiés : les capteurs plats et ondulés. De plus, nous avons également analysé les résultats en fonction de l'écart entre l'absorbeur et le vitrage (12, 9, 6 et 3cm), afin de déterminer le meilleur écart pour optimiser l'efficacité énergétique du système. En comparant nos données aux références existantes, nous apportons des contributions significatives à la compréhension de ces capteurs solaires à air et ouvrons la voie à des perspectives futures passionnantes dans ce domaine en constante évolution.

Notre thèse abordera également les principaux paramètres de performance des capteurs solaires, tels que les différences de température, l'énergie, le rendement et l'exergie. Ces paramètres seront examinés dans le contexte des différentes applications des capteurs solaires, qu'il s'agisse du chauffage domestique, de la production d'eau chaude sanitaire et du séchage solaire.

Finalement, cette thèse vise à approfondir notre compréhension des capteurs solaires et de leurs performances énergétiques. En étudiant les différentes technologies, en analysant les paramètres de performance clés et en examinant les dernières avancées, nous pourrons contribuer à l'avancement de l'énergie solaire et à la transition vers une société plus durable et respectueuse de l'environnement.

Chapitre I

Généralités sur les capteurs solaires

I.1 Introduction

Le soleil dégage plusieurs types de rayonnement. Certains dépassent la couche atmosphérique de la Terre, et ces derniers produisent une énorme énergie solaire renouvelable s'ils sont captés par des capteurs solaires exploitant l'effet de serre. Actuellement, les chercheurs visent à améliorer le rendement des capteurs solaires pour profiter au maximum de cette énergie.

Dans ce premier chapitre, nous aborderons les généralités sur l'énergie solaire : sa source, ses composantes de rayonnement diffus et reçu par la Terre. Nous verrons également les différents types de capteurs solaires thermiques, leurs composants, leurs modes de fonctionnement, ainsi que tous les phénomènes physiques et optiques qui leur donnent une caractéristique thermique. Enfin, nous étudierons les différents types de transfert de chaleur.

I.2 Energie solaire

Le Soleil est une énorme sphère gazeuse, principalement constituée d'hydrogène, avec un diamètre de 1 391 000 km, environ cent fois celui de la Terre, et une masse d'environ 2.1027 tonnes. Toute l'énergie du Soleil est générée par des réactions thermonucléaires qui transforment chaque seconde environ 564.106 tonnes d'hydrogène en 560.106 tonnes d'hélium, laissant une différence de 4 millions de tonnes d'énergie ($E=mc^2$), ce qui représente une énergie totale d'environ 36.1022 kW. À une distance de 150.106 km du Soleil, la Terre reçoit environ $1,8 \cdot 10^{17}$ W d'énergie solaire. La quantité de rayonnement solaire reçue par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (environ 80 km d'altitude) varie en fonction de la distance Terre/Soleil tout au long de l'année. La valeur moyenne de cette quantité, appelée

constante solaire, est d'environ 1353 W.m^{-2} , et peut être approximée en fonction du numéro du jour de l'année j par la formule : $E = E_0 [1 - 0,033 \cos(0,984 j)]$. [1]

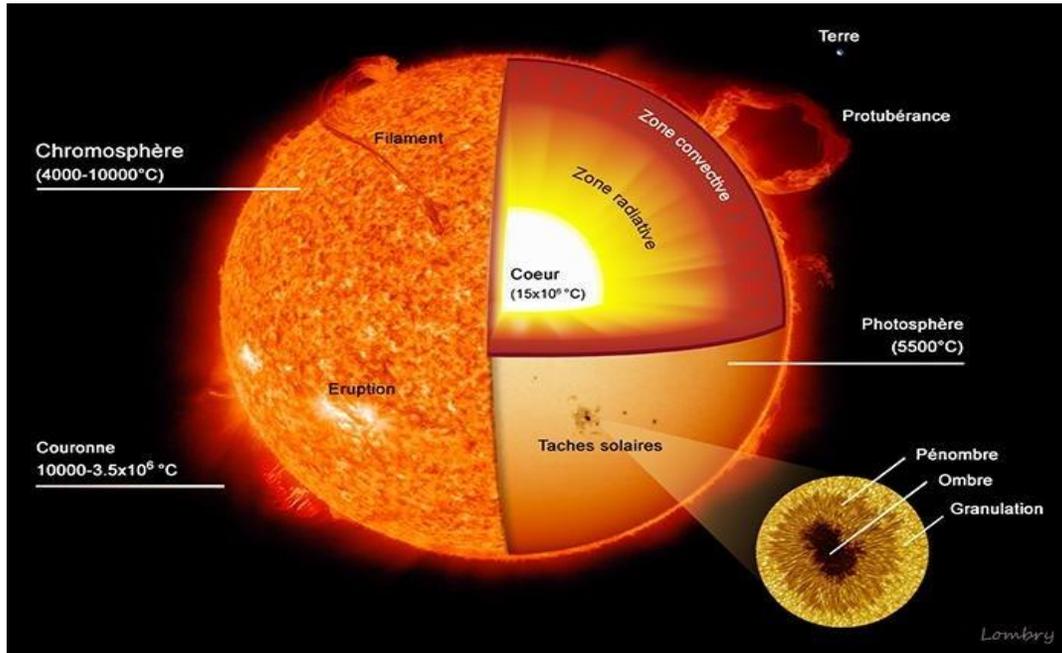


Fig. I.1. Illustration de la structure du Soleil [2]

I.2.1 Rayonnement solaire

L'énergie solaire, représentée par la constante solaire moyenne à l'entrée de l'atmosphère ($G = 1367 \text{ W/m}^2$), est altérée lorsqu'elle traverse l'atmosphère de la Terre. En conséquence, seule une partie de cette énergie est disponible au niveau du sol. [3]

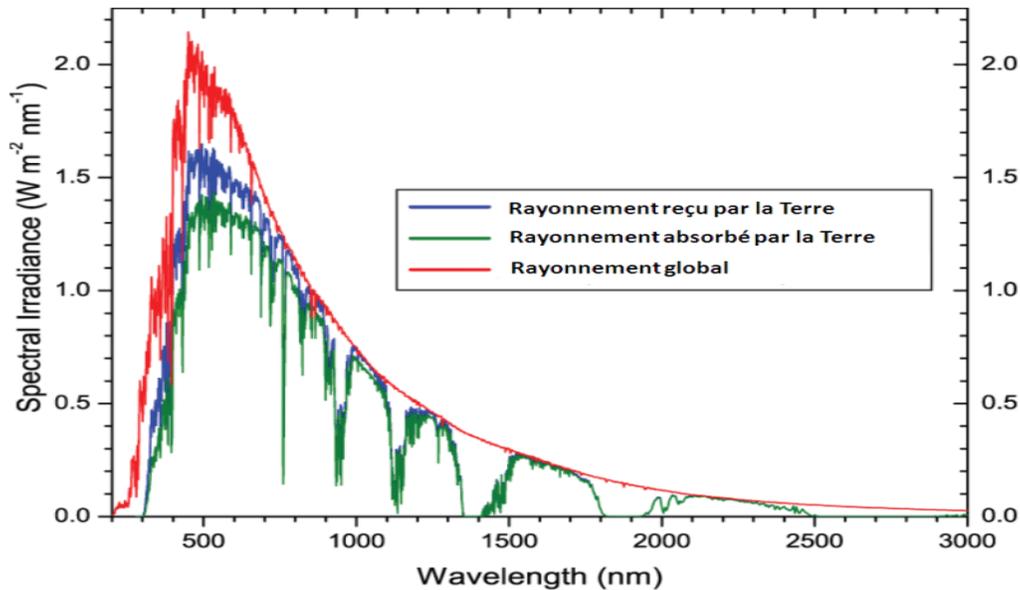


Fig. I.2. Spectre solaire [4]

I.2.2 Composant de rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est composé de l'ensemble des longueurs d'onde λ émises par le Soleil, qui se situent entre 0,3 et 3 μm et comprennent les ultraviolets, le visible, le proche infrarouge et le moyen infrarouge. Lorsque ce rayonnement traverse l'atmosphère, il est principalement absorbé par l'ozone, la vapeur d'eau et le gaz carbonique. Une partie de ce rayonnement atteint la surface de manière directe, sous forme de rayonnement direct, tandis qu'une autre partie est diffusée par les molécules et les particules présentes dans l'atmosphère, sous forme de rayonnement diffus. Ce rayonnement est le moteur principal de tous les échanges entre les végétaux et l'atmosphère, ce qui le rend intéressant du point de vue agronomique (évapotranspiration, photosynthèse, etc.). L'unité de mesure couramment utilisée pour le rayonnement solaire est le W/m^2 [5]

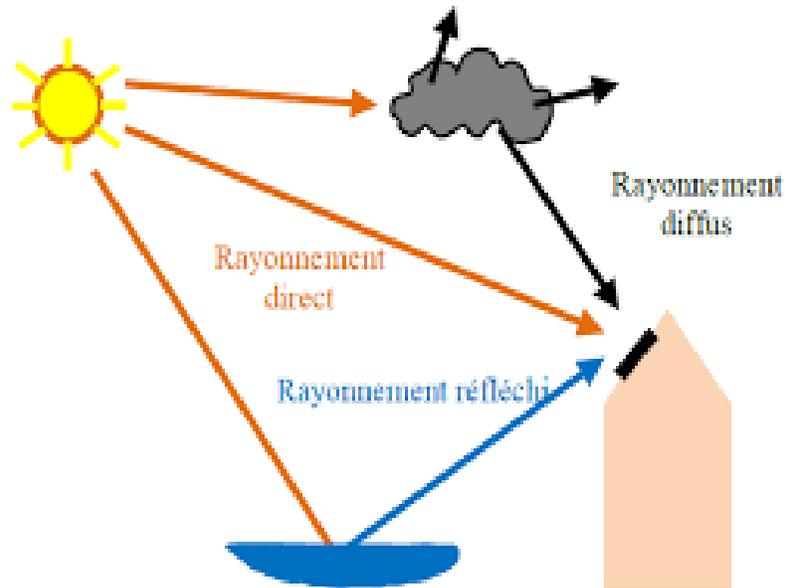


Fig.I.3. représentation des différents rayonnements solaires terrestres reçus [6]

I.2.3 Energie solaire thermique

L'énergie solaire thermique consiste à exploiter la chaleur générée par le rayonnement solaire, lequel est constitué d'ondes électromagnétiques transportant des photons. Ces photons représentent des quantités d'énergie résultant de l'interaction entre les électrons et les protons. La conversion de l'énergie solaire en chaleur s'opère à travers un dispositif appelé capteur solaire thermique (aussi connu sous le nom de panneaux solaires thermiques ou capteur héliothermique). Ce dernier est conçu pour absorber la lumière solaire et la transformer en chaleur, puis transmettre cette dernière à un fluide caloporteur liquide tel que l'eau, l'antigel ou l'air.

Le rayonnement solaire peut être exploité de différentes manières, notamment en utilisant directement la chaleur produite (à basse température) pour chauffer de l'eau, pour le chauffage de l'air, pour la cuisson, ou encore pour le séchage. Il peut également être utilisé indirectement pour d'autres applications telles que la climatisation solaire et les centrales solaires thermodynamiques. Enfin, la concentration solaire permet d'obtenir des températures élevées, permettant notamment de concevoir des fours solaires[7]

I.3 Capteur solaire thermique

Un capteur solaire thermique a pour objectif de convertir l'énergie solaire qu'il reçoit en énergie thermique exploitable, généralement en utilisant un fluide caloporteur (comme de l'eau ou de l'air). Lorsque le rayonnement solaire touche la surface absorbante (corps noir), celle-ci se réchauffe en absorbant l'énergie du rayonnement solaire. Le fluide qui circule sous la surface absorbante récupère une partie de cette énergie par conduction, ce qui entraîne une augmentation de sa température ($T_{fs}-T_{fe}$) lorsqu'il traverse le capteur.

I.3.1 Corps noir

Un corps noir est une entité fictive qui répond à deux critères. Il absorbe entièrement le rayonnement électromagnétique incident et émet un rayonnement thermique proportionnel à sa température, sur toutes les longueurs d'onde. En réalité, il n'existe pas de corps noir parfait car aucun objet n'est capable d'absorber toutes les longueurs d'onde du rayonnement et de les émettre sans aucune perte d'énergie.[8]

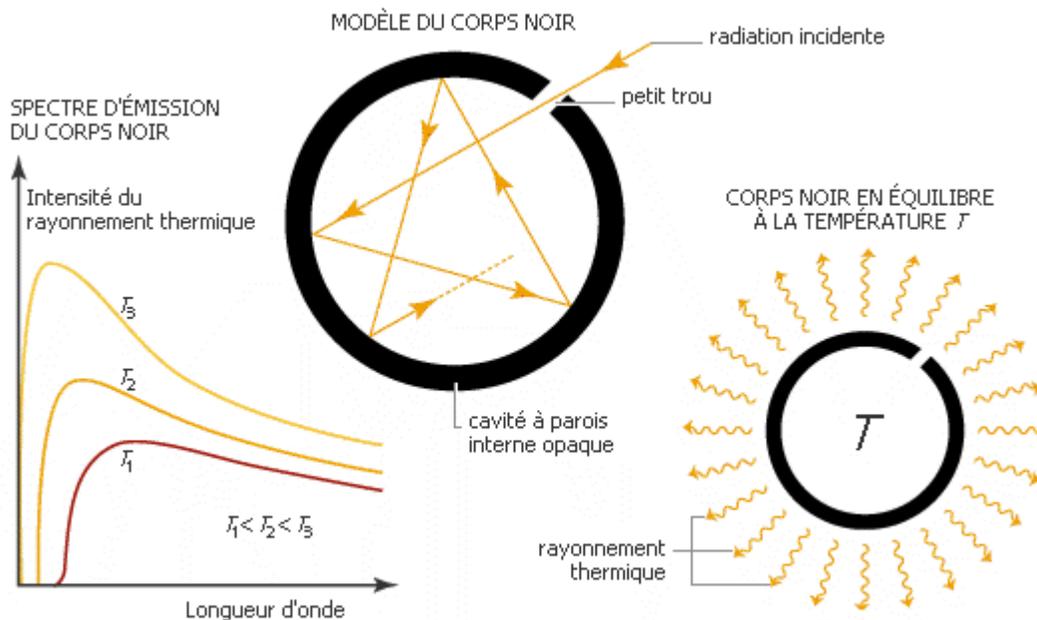


Fig. I.4. Modèle théorique du corps noir[9]

I.3.2 Le fluide caloporteur

Généralement, de l'air ou de l'eau est utilisé pour dissiper la chaleur qui est absorbée par la surface absorbante. Parfois, en raison des conditions climatiques, on utilise des mélanges d'eau et de glycol, bien que leur capacité thermique soit inférieure à celle de l'eau pure. Comparé à l'eau, l'air ne présente pas de problèmes de gel en hiver ou d'ébullition en été, et il élimine également les problèmes de corrosion. Cependant, l'air est principalement utilisé pour le chauffage des locaux et le transfert thermique est moins efficace qu'avec l'eau.

Quel que soit le système utilisé, il est essentiel d'assurer un contact étroit entre les tuyaux qui transportent le fluide et la plaque absorbante, que ce soit par emboutissage ou par soudure. De plus, l'espacement entre les tuyaux doit être calculé avec précision en fonction du diamètre du tuyau, de l'épaisseur de la plaque et des matériaux utilisés. Il est préférable de placer les tuyaux de circulation du fluide en contact avec l'absorbeur en parallèle plutôt qu'en serpent.[10]

I.3.3 Effet de serre

L'effet de serre se produit lorsqu'il y a une altération du flux d'énergie thermique entrant et sortant de l'environnement, ce qui entraîne une augmentation de la température dans cet environnement.

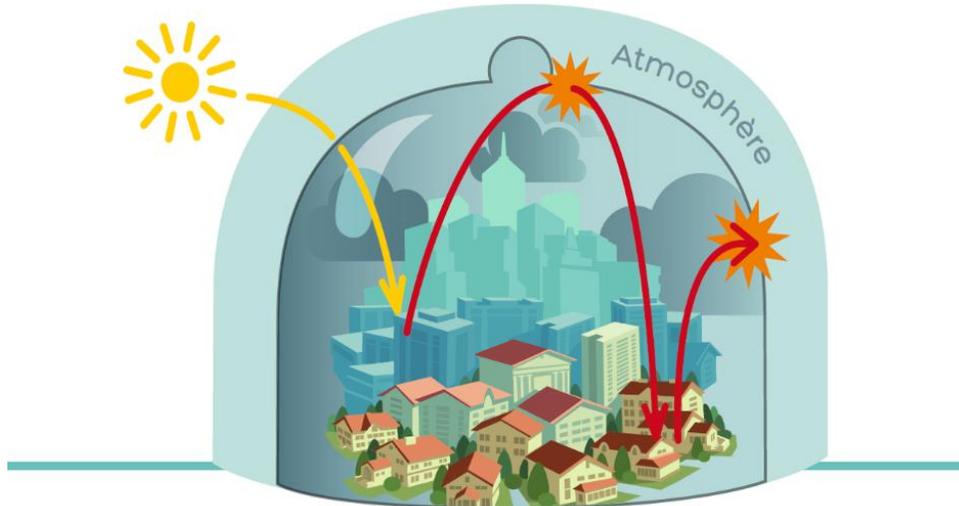


Fig.I.5. Principe de l'effet de serre[11]

I.4 Types des capteurs solaires

Les capteurs solaires thermiques peuvent être catégorisés en fonction de leur plage de températures de fonctionnement, à savoir les capteurs à basse température, moyenne température et haute température. Cette classification conduit essentiellement à trois types de capteurs solaires thermiques : les capteurs plans vitrés, les capteurs plans non vitrés et les capteurs à tube sous vide.[12]

I.4.1 Capteur non vitré

Le capteur solaire non vitré, également connu sous le nom de capteur "moquette", est constitué d'un absorbeur en métal ou en matière synthétique revêtu d'une peinture sombre et sélective, ainsi que d'un ensemble de tubes cylindriques ou ovales qui résistent aux rayonnements ultraviolets et aux variations de température. Les tubes contiennent de l'eau en tant que fluide caloporteur, qui se réchauffe à mesure qu'elle circule dans les tubes. Étant donné que ces capteurs solaires ne sont généralement pas isolés, l'eau qui en sort ne dépasse pas les 20°C. Les capteurs solaires non vitrés ne sont utilisés que pour chauffer l'eau de la piscine.[13]

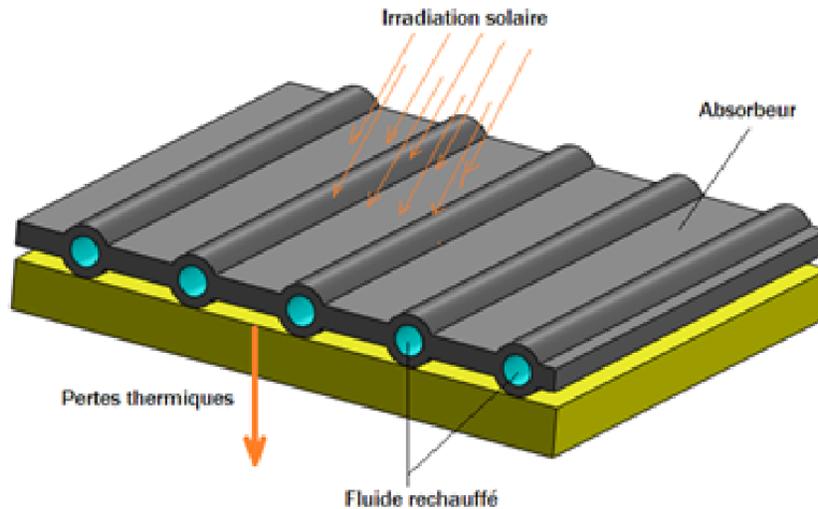


Fig. I.6. Capteur solaire non vitré[14]

I.4.2 Capteur solaire sous vide

Le capteur sous vide est un type de capteur solaire qui se compose de couvertures transparentes, souvent en verre, avec un espace vide entre celles-ci et l'absorbeur. Cette configuration permet de réduire considérablement les pertes thermiques et d'obtenir un rendement supérieur à celui des capteurs plans à des températures relativement élevées ($>60^{\circ}\text{C}$). Cependant, ces capteurs sont plus coûteux que les capteurs normaux et ne sont donc pas recommandés pour les chauffe-eau solaires fonctionnant à des températures inférieures à 60°C la plupart du temps. Malgré cela, l'Allemagne a vendu environ 60 000 m^2 de capteurs solaires sous vide en 1999, représentant 18 % du total des capteurs vitrés, principalement pour une utilisation dans les chauffe-eau solaires individuels.[15]

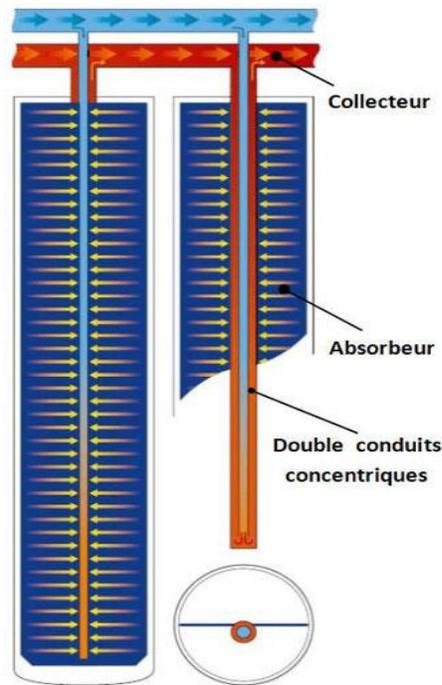


Fig. I.7. Capteur solaire sous vide [16]

I.4.3 Capteur solaire vitré

La structure de ce dispositif se compose d'un boîtier isolé recouvert d'un vitrage, à l'intérieur duquel est placé l'absorbeur - un serpentin qui contient le fluide à chauffer. Des ailettes noires bordent le serpentin pour améliorer son absorption de chaleur, car la couleur noire transforme mieux la chaleur absorbée. Ce modèle est équipé d'un matériau isolant (le plus souvent de la laine de roche) pour protéger l'absorbeur contre les pertes de chaleur. Le vitrage est fabriqué en verre trempé très résistant aux intempéries et à la grêle, très transparent grâce à sa faible teneur en fer, et conçu pour présenter un faible niveau de réflexion afin de maximiser l'absorption de la chaleur. Ces capteurs solaires sont populaires car ils sont robustes et simples en structure, techniquement sophistiqués en termes de qualité du vitrage et de l'isolation, offrent un excellent rapport qualité-prix. Ils sont faciles à intégrer grâce à leur surface plane et discrète lorsqu'ils sont installés sur le toit. La qualité de fabrication du boîtier (en aluminium ou en acier inoxydable), la qualité et l'épaisseur de l'isolation entourant l'absorbeur, le traitement anti-réflexion du vitrage, les joints et

l'assemblage sont les éléments qui font la différence en termes de performance et de fiabilité[17]

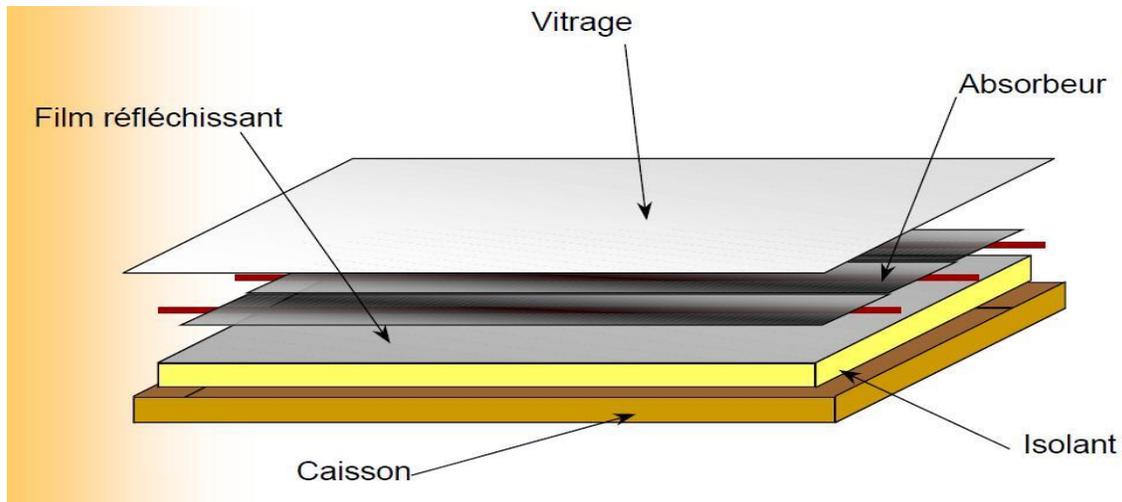


Fig. I.8. Capteur solaire vitré [18]

I.4.3.1 Plaque absorbante

Les absorbeurs sont couramment fabriqués à partir de feuilles minces de métaux ayant une bonne conductibilité et une résistance mécanique élevée. Pour cette raison, la plupart des absorbeurs sont fabriqués en utilisant un support en cuivre d'une épaisseur de 0,2 mm et recouverts d'un traitement de surface. L'absorbeur est généralement placé à une distance de 25 à 30 mm de l'isolant et a pour fonction de maximiser l'absorption du rayonnement et de minimiser sa réémission. Les surfaces qui absorbent le maximum de lumière visible et réémettent un minimum d'infrarouges sont appelées "sélectives". La sélectivité de l'absorbeur est cruciale et peut être améliorée grâce à des traitements de surface qui ajoutent des caractéristiques telles qu'une absorption solaire maximale et une réduction des émissions d'infrarouges (due à la chaleur). Les caractéristiques des absorbeurs sont déterminées par deux coefficients : le coefficient d'absorption (α) qui varie de 0 à 1 (optimum : 1) et le coefficient d'émission (ε) qui varie de 0 à 1 (optimum : 0). L'objectif est d'absorber autant de rayonnement solaire que possible et de transmettre la chaleur produite au fluide caloporteur avec le minimum de pertes [19]

I.4.3.1.1 Different revêtements possible

- Peinture noire : En utilisant de la peinture noire mate disponible dans le commerce, il est possible d'atteindre un coefficient d'absorption α compris entre 0,9 et 0,95. Cependant, il convient de noter que le coefficient d'émission ε associé à cette peinture est très élevé, atteignant 0,85

- Oxyde de chrome Le revêtement noir "black chrome" est constitué d'une couche extrêmement fine d'oxyde de chrome déposé sur une sous-couche de nickel, qui recouvre un support métallique. Ce revêtement présente un coefficient d'absorption α de 0,95, tandis que son coefficient d'émission ε varie de 0,12 à 0,18.[20]

Tableau I.1 : Matériaux utilisés comme absorbeurs [21]

Matériaux	absorptivité α^*	émissivité ε	sélectivité α^* / ε	Température max.
Black nickel	0,88 - 0,98	0,03 - 0,25	3,7 - 32	300°C
Graphitic films	0,876 - 0,92	0,025 - 0,061	14,4 - 36,8	250°C
Black copper	0,97 - 0,98	0,02	48,5 - 49	250°C
Black chrome	0,95 - 0,97	0,09 - 0,30	3,2 - 10,8	350 - 425°C

I.4.3.2 Vitrage en verre

Une propriété physique intéressante du verre est sa capacité à laisser passer le rayonnement solaire visible tout en bloquant le rayonnement infrarouge provenant d'un émetteur tel que celui d'un absorbeur. Cet effet de blocage de la chaleur crée une zone d'effet de serre entre l'absorbeur et la couverture en verre

Il est important que la couverture puisse résister efficacement aux chocs, aux variations soudaines de température et aux températures élevées[22].

Le degré de performance optique ou le taux de transmission ξ est utilisé pour mesurer la qualité du verre, et il est déterminé par plusieurs facteurs tels que la nature et l'épaisseur du vitrage, l'angle d'incidence i et le type de rayonnement (direct ou diffus) qui y est soumis. La valeur courante du taux de transmission ξ est généralement de 0,91[20].

I.4.3.3 Le coffre ou le cadre

Le dispositif de capture est abrité dans un coffre qui contient plusieurs composants. Ainsi, il est essentiel que ce dernier offre une protection optimale contre les éléments atmosphériques. Les coffres de capteurs peuvent être fabriqués en bois ou en feuilles fines de différents métaux tels que l'acier galvanisé, l'aluminium ou l'inox, et sont protégés par un revêtement résistant aux intempéries.

I.5 Transfert de chaleur

Le transfert de chaleur est également appelé transfert thermique ou transfert par chaleur. Il consiste en un échange d'énergie thermique entre deux systèmes ayant une différence de température.

Lorsque deux corps ont la même température, on dit qu'ils sont en "équilibre thermique". Cependant, si leur température diffère, il y aura un transfert de chaleur entre eux. Selon le deuxième principe de la thermodynamique, la chaleur (ou l'énergie thermique) ne peut être transférée que d'un corps chaud vers un corps froid, c'est-à-dire d'un corps ayant une température donnée vers un autre ayant une température plus basse[23].

I.5.1 Conduction

La loi de Fourier décrit le transfert de chaleur par conduction, qui se produit lorsque des matériaux ou des objets sont en contact direct les uns avec les autres. Lorsqu'un objet chaud est en contact avec un objet plus froid, les molécules dans l'objet chaud s'agitent plus rapidement que celles dans l'objet plus froid. Cela signifie que les molécules situées dans la partie la plus chaude de l'objet vibrent plus rapidement que celles situées dans les parties plus froides, et elles entrent en collision avec les molécules plus lentes, ce qui accélère leur mouvement[24].

La quantité de chaleur transférée est déterminée par la loi de Fourier.

Dans le cas d'un champ de température à une dimension :

$$\Phi = -\lambda * S * \frac{dt}{dx} \quad (I.1)$$

Φ : Puissance transférée

S : Surface perpendiculaire au flux thermique

$\frac{dt}{dx}$: Gradient de température au point x considéré

I.5.2 Convection

La convection est un phénomène qui se produit dans un gaz ou un liquide lorsque des écarts de température provoquent un mouvement des particules. Ces mouvements ont pour effet de transférer de la chaleur dans le gaz ou le liquide concerné. Les molécules qui composent les liquides et les gaz sont plus espacées et ont plus de liberté de mouvement que celles des solides. En conséquence, les molécules chauffées dans un liquide ou un gaz peuvent se déplacer physiquement, ce qui différencie la convection de la conduction, où les molécules se contentent de vibrer plus rapidement[25].

La quantité de chaleur transmise par le flux de convection est déterminée par la loi de Newton.

$$\Phi = hS(T_s - T_{inf}) \quad (\text{I.2})$$

Φ : Puissance transférée.

S : Surface traversé ou de contact solide-fluide (m^2).

T_s - T_{inf} : Température de la surface et moyenne du fluide (k).

H : Coefficient moyenne de transfert convectif ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{k}^{-1}$).

I.5.3 Rayonnement

Le rayonnement électromagnétique émis par tout corps à une température supérieure à 0 Kelvin est appelé rayonnement thermique. Contrairement à d'autres types de rayonnement, le rayonnement thermique peut se propager même dans le vide, ce qui nous permet de ressentir la chaleur du soleil malgré sa distance dans l'espace. Les longueurs d'onde du rayonnement thermique sont comprises entre 0,1 et 100 nanomètres et sont incluses dans le domaine visible[26].

Pour étudier ce type de rayonnement, les scientifiques utilisent un corps de référence appelé corps noir.

Pour ce corps la loi de Stefan Boltzmann et donnée par :

$$M = \sigma \times A \times T^4 \quad (\text{I.3})$$

T = température absolue (K) du corps considéré.

σ = constante de Stefan-Boltzmann = $5,67 \times 10^{-8} \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$.

A = surface du corps noir.

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre, on a défini la source de cette énergie solaire ainsi que ses composantes de rayonnement diffus et reçu par la terre. Les différents types de capteurs solaires thermiques, leurs composants, leurs modes de fonctionnement ainsi que tous les phénomènes physiques et optiques qui leur donnent une caractéristique thermique ont été présentés. Les différents types de transferts de chaleur ont également été abordés. L'influence des différents paramètres sur le rendement d'un capteur solaire fera l'objet de la suite.

Chapitre II

Recherche bibliographique

II.1 Introduction

Les capteurs solaires sont de plus en plus utilisés pour produire de l'énergie thermique à partir de l'énergie solaire, en raison de leurs nombreux avantages économiques et environnementaux. À l'échelle mondiale, la conservation des ressources énergétiques est devenue une priorité en raison de la demande croissante en énergie, ce qui a conduit les spécialistes à chercher de nouvelles techniques, notamment les énergies renouvelables telles que l'énergie solaire, éolienne et géothermique.

L'amélioration des performances thermiques des capteurs solaires repose sur diverses techniques, notamment le choix de formes adéquates et de paramètres de conception tels que l'épaisseur du canal, de la lame d'air fluide, la longueur et la largeur du capteur, l'épaisseur de l'isolant pour une bonne isolation thermique, le choix de la matière absorbante (sélective ou non sélective), le simple ou double vitrage, la position de l'absorbeur, ainsi que des couvertures multiples en verre, polycarbonate ou film plastique.

II.2 Etude bibliographique

Diverses approches sont entreprises à travers le monde pour concevoir et évaluer des capteurs d'air, visant à optimiser la collecte d'énergie solaire tout en réduisant les coûts. Dans cette optique, des recherches sont actuellement en cours pour explorer de nouvelles voies novatrices. Dans la suite de cette synthèse, nous présentons plusieurs études publiées dans la littérature qui se concentrent sur l'aspect thermique des capteurs solaires à air, ainsi que sur des analyses énergétiques approfondies.

F. Bagui et H. Chafouk (2006) ils ont mis en évidence l'importance des études sur les transferts thermiques dans les systèmes solaires thermiques, en particulier l'utilisation de capteurs solaires comme alternative aux énergies non renouvelables. Ils ont démontré qu'il est possible de modéliser le système sous une forme linéaire, ce qui facilite son contrôle sur le plan théorique et le rend intéressant sur le plan technologique. Un exemple

de l'amélioration des performances de ces systèmes est le couplage entre le solaire thermique et le photovoltaïque. Par ailleurs, les avancées dans les systèmes de "froid solaire" représentent également une voie prometteuse pour promouvoir l'utilisation des capteurs solaires.[27]

D. Semmar et al (1998) ont mené une étude au but d'analyser et de concevoir un capteur solaire à air en utilisant un modèle spécifique sélectionné parmi d'autres. Une comparaison a été réalisée entre les paramètres de performance du modèle théorique et ceux observés sur le banc d'essai. Ils ont également remarqué que dans le cas de la convection forcée, le débit d'air chaud en sortie est important, mais la température obtenue est inférieure à celle obtenue dans le cas de la convection naturelle où le débit est plus faible. En conclusion de cette étude, l'écart entre les résultats calculés et mesurés n'est pas considérable. [28]

Ahmed-Zaid et al (2001) ont réalisé une comparaison entre les résultats de deux types de capteurs solaires : l'un avec des obstacles et l'autre sans obstacles (SC). Les différentes formes étudiées, telles qu'illustrées dans les Figures II.1, II.2 et II.3, comprenaient des chicanes Delta Cintrées Longitudinalement (DCL), Ogivales Cintrées Longitudinalement (OCL) et Transversales-Longitudinales (TL). À la suite de l'analyse des résultats, il a été démontré que le capteur équipé d'obstacles de type TL présentait les meilleures performances. [29]



Fig.II.1. Disposition des obstacles DCL. [29]

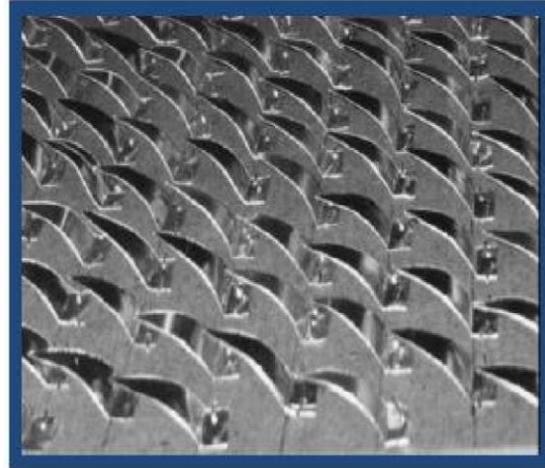


Fig. II.2. Disposition des obstacles OCL. [29]

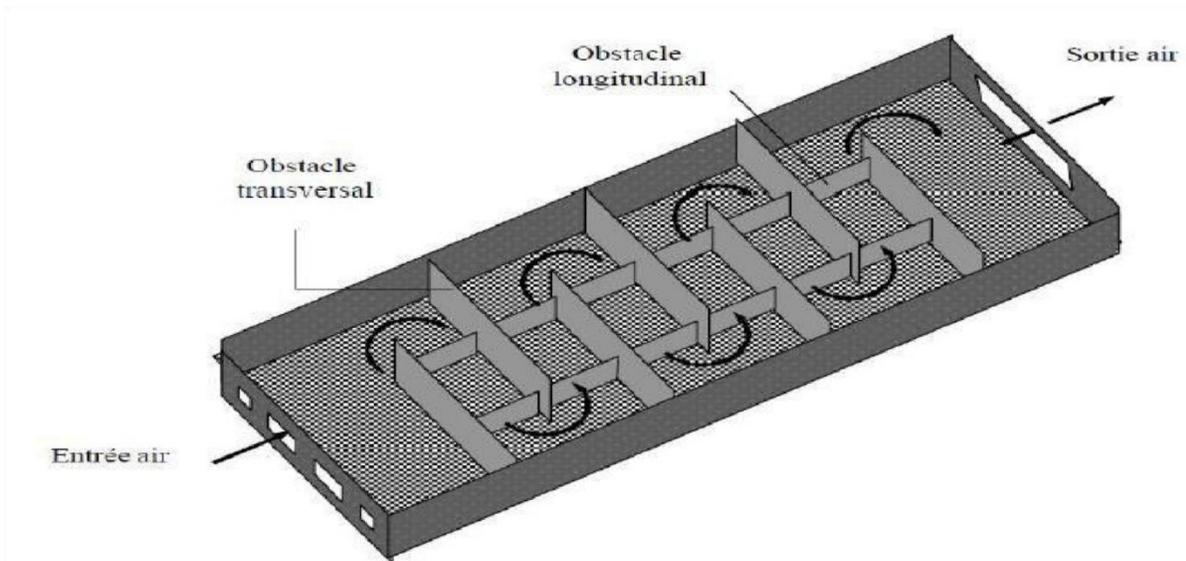


Fig. II.3. Capteur muni d'obstacles TL. [29]

BAISSI Mohamed Tahar (2019) s'est penché dans son étude sur l'amélioration des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air en utilisant une rugosité artificielle sur la plaque d'absorption. Il a réalisé des travaux de recherche à la fois numériques et expérimentaux afin d'approfondir la compréhension des caractéristiques de transfert de

chaleur et des écoulements de fluides en présence de chicanes en forme d'aile delta courbées longitudinalement utilisées comme rugosité artificielle. [30]



Fig.II.4. Configuration de l'absorbeur avec des chicanes en forme d'aile delta courbée longitudinalement. [30]

B. TOUATI et al (2019) ont réalisé une investigation à la fois théorique et expérimentale sur un capteur solaire à air à simple circulation en convection forcée, ayant pour application le chauffage domestique. La modélisation a été fondée sur la résolution des équations de transfert thermique entre les composants du capteur, notamment la plaque absorbante, la couverture transparente et le fluide caloporteur. Un programme de calcul spécifique a été développé en utilisant l'environnement Matlab pour résoudre ces équations. Les simulations numériques ont permis de déterminer les profils de température de chaque élément du capteur ainsi que son rendement thermique. En parallèle, une phase expérimentale a été menée au sein de l'Unité de Recherche des Energies Renouvelables en Milieu Saharien (U.R.E.R/M.S) d'Adrar, où un prototype de capteur solaire à air de simple circulation en convection forcée a été conçu et testé. Les mesures des températures de l'absorbeur, du vitrage et de l'air à l'intérieur du capteur ont servi à calibrer le modèle numérique élaboré. [31]

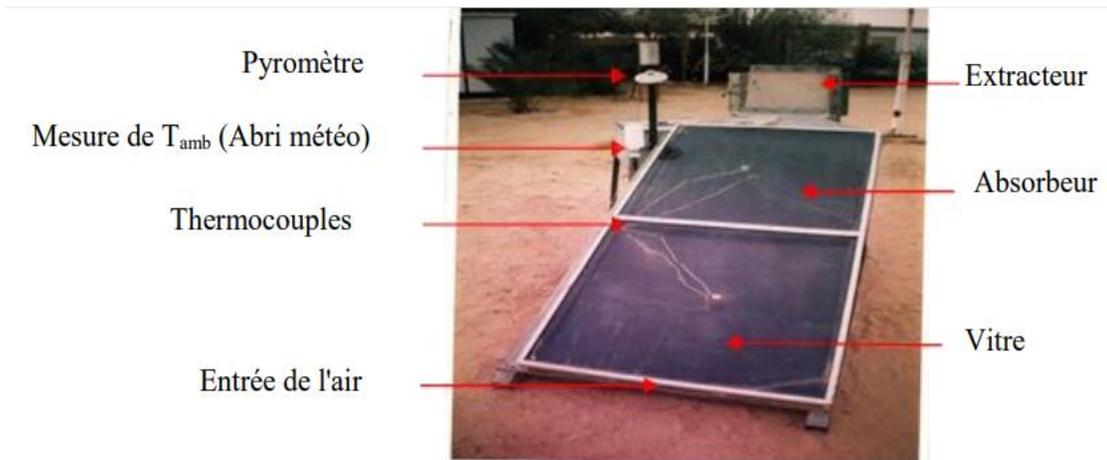


Fig. II.5. Capteur solaire à air réalisé. [31]

Adnane Labeled et al (2011) se sont intéressés à l'impact des chicane placées dans la veine d'air d'un capteur solaire afin d'améliorer ses performances thermiques. Des résultats expérimentaux ont démontré que l'ajout de chicane permet d'obtenir une amélioration relative du rendement thermique du capteur. L'objectif de cette étude expérimentale était de comparer les performances thermiques de capteurs solaires plans à air, équipés d'obstacles dans la veine d'air mobile pour créer un écoulement turbulent, selon deux géométries différentes de passage de l'air. Une application pratique de ces systèmes a été présentée en utilisant les meilleurs modèles pour accélérer le processus de séchage du henné dans des délais intéressants. [32]

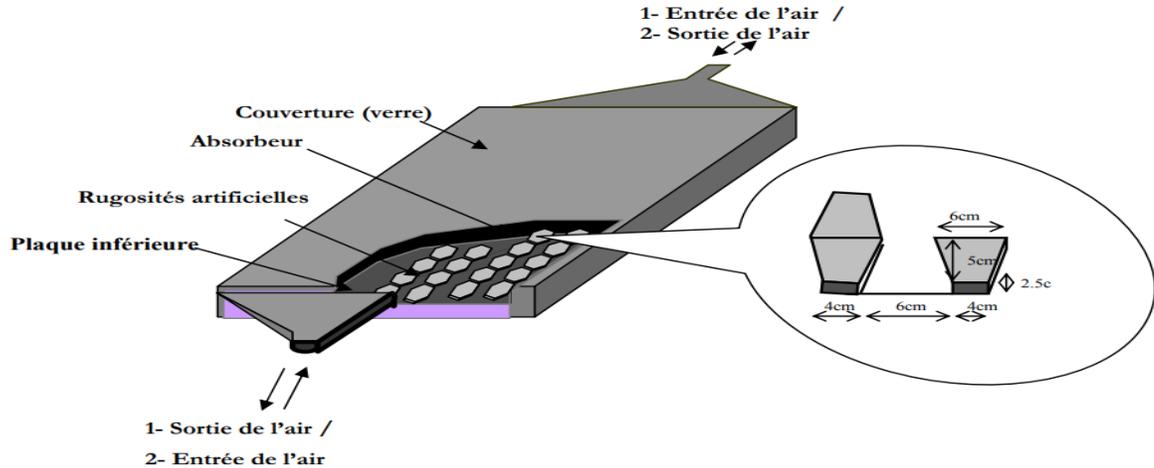


Fig. II.6. Dispositif expérimental. [32]

OUBIRI.N et al (2020) ont entrepris d'améliorer le rendement thermique et de réduire les pertes de charge d'un système en ajoutant des chicane rectangulaires perpendiculaires au flux de fluides. Ils ont effectué différentes manipulations pour obtenir le rendement thermique optimal, notamment en modifiant le nombre de chicanes à un angle de 45° et en utilisant des blocs d'écoulement. Les résultats ont montré que le rendement thermique le plus élevé était obtenu avec un grand nombre de chicanes et un débit de fluide important. Cependant, ces augmentations ont également entraîné une augmentation des pertes de charge. Par conséquent, ils ont choisi le mode 2 (14 chicanes) comme la meilleure configuration, car elle offrait un compromis favorable entre rendement thermique et pertes de charge. Il convient de noter que les chicanes d'angle utilisées dans cette étude présentaient un rendement légèrement inférieur par rapport aux expériences antérieures, mais elles étaient plus favorables en termes de pertes de charge.[33]



Fig. II.7. Différents types des modes étudiées. [33]

F.Chabane (2015) a mené une étude sur le transfert de chaleur dans un chauffe-air solaire qui a été examiné en utilisant un nouveau design de capteur solaire. L'efficacité du capteur, tant sans qu'avec l'utilisation de chicane attachées sous la plaque absorbante, a été évaluée expérimentalement. L'ajout de chicanes à l'intérieur de la plaque absorbante présente un effet bénéfique en augmentant le coefficient de transfert thermique, compensant ainsi l'effet indésirable de la diminution de la force motrice du transfert thermique (différence de température). De plus, les chicanes attachées offrent une zone de transfert de chaleur élargie. Dans cette étude, la plaque absorbante du capteur solaire est fixée avec des

aillettes pour améliorer davantage les performances. Les améliorations de l'efficacité des collecteurs dans les réchauffeurs d'air solaire mono-passe, avec ou sans ailettes attachées, augmentent avec une augmentation du débit massique, en particulier lorsqu'ils fonctionnent à un débit d'air plus faible. [34]

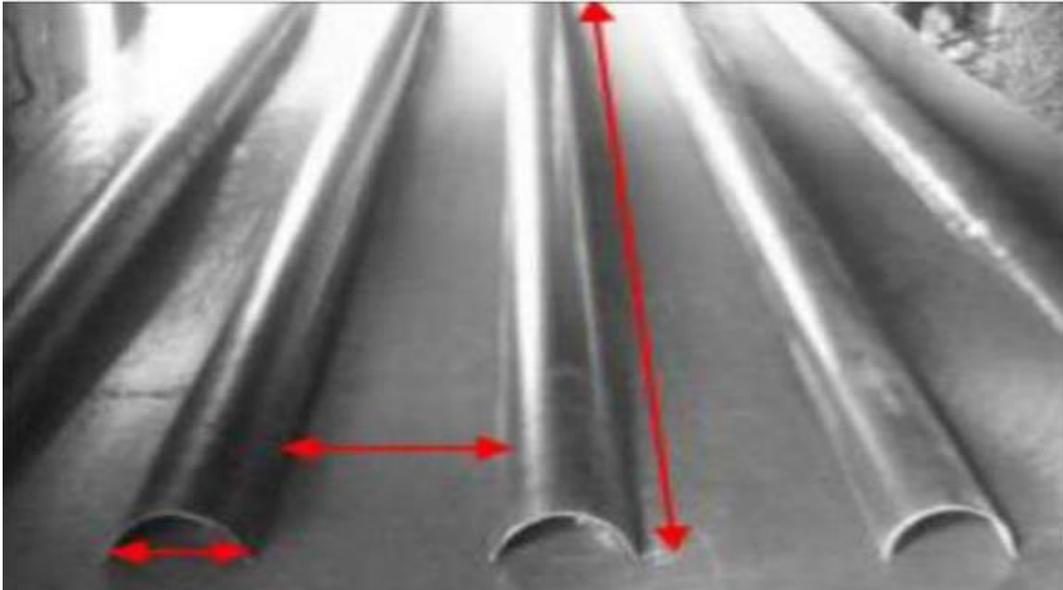


Fig. II.8. Disposition des chicane et géométrie de passage d'air. [34]

Des expériences ont été conduites à deux débits massiques d'air différents, à savoir 0,012 kg/s et 0,016 kg/s. Les résultats ont révélé que l'efficacité maximale obtenue était de 40,02 % et 51,50 % pour les débits de 0,012 kg/s et de 0,016 kg/s respectivement, avec l'utilisation d'aillettes. En comparaison, les rendements sans ailettes étaient de 34,92 % et 43,94 % pour les mêmes débits massiques. Cette comparaison met en évidence une amélioration significative du rendement thermique lorsque des ailettes sont utilisées dans le capteur solaire. [34]

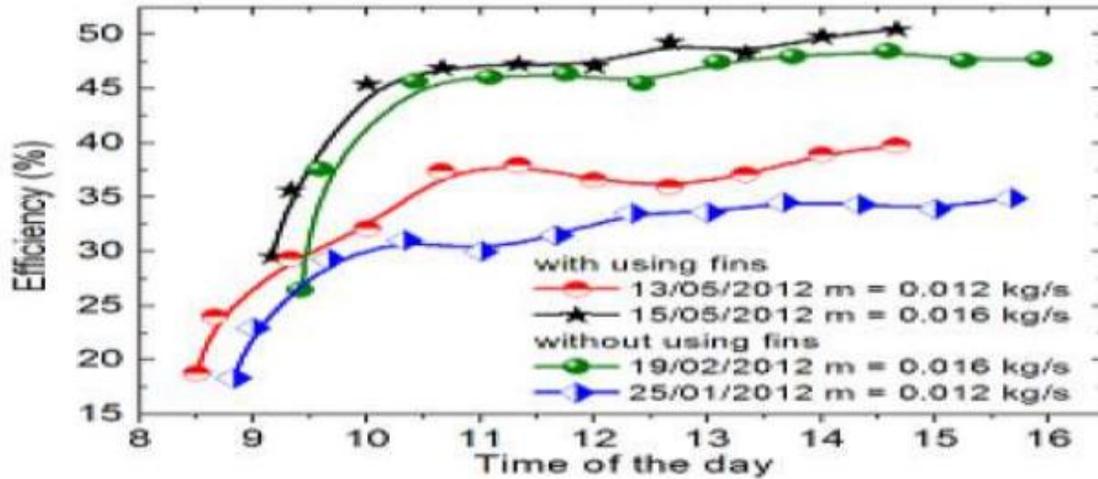


Fig. II.9. Effet du flux d'air sur l'efficacité journalière du capteur, avec et sans utilisation d'ailettes pour les mois de janvier, février et mai. [34]

S. Bahria et al (2013) ont entrepris une étude expérimentale et théorique sur un capteur solaire plan à air, qui a été spécifiquement conçu et fabriqué au sein de l'Unité de Développement des Equipements Solaire (U.D.E.S) à Bou Ismail, Tipaza. Ce capteur fait partie intégrante d'un prototype de séchoir solaire agricole fonctionnant par thermosiphon. Pour évaluer les performances du capteur, les chercheurs ont comparé les résultats théoriques issus d'un modèle développé spécifiquement pour cette étude, avec les données expérimentales recueillies lors d'une journée représentative de mai, en conditions d'ensoleillement naturel. Par ailleurs, l'étude s'est intéressée à l'impact de l'augmentation du nombre de rangées de chicanes sur l'efficacité thermique du capteur. Les résultats obtenus ont révélé une amélioration significative de la température de sortie et du rendement du capteur lorsque le nombre de rangées de chicanes augmentait, passant de 7 à 10 rangées. [35]

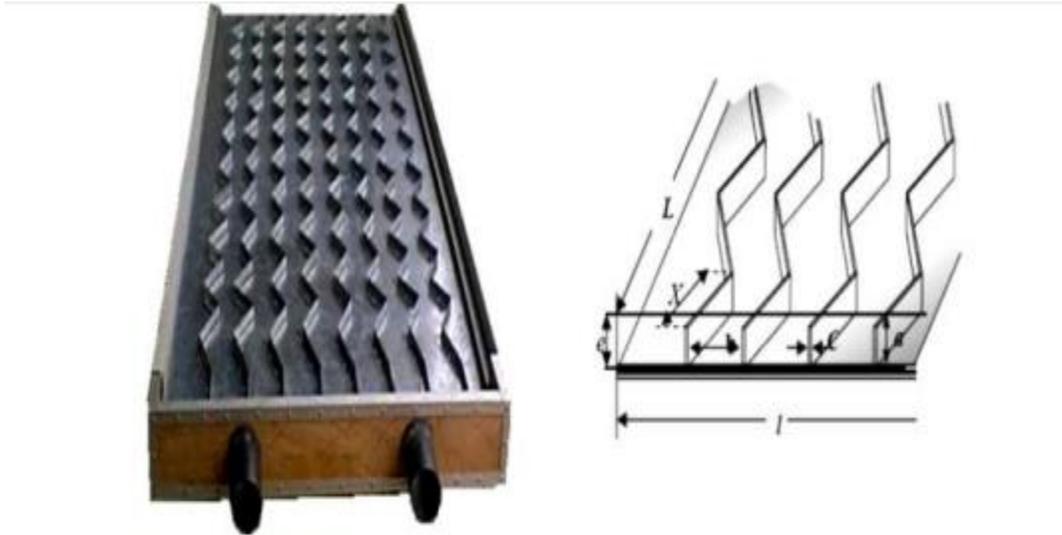


Fig.II.10. Caractéristiques géométriques de chicanes longitudinales. [35]

Youcef Bekkari (2019) a réalisé une étude expérimentale sur les performances thermiques d'un capteur solaire curviligne à air, conçu, fabriqué et testé à l'université de Biskra. Cette étude a permis de tracer des courbes de rendement thermique, de consommation électrique et de rendement global pour différents débits d'air. Une comparaison des profils de température de l'air dans le canal d'écoulement a également été réalisée pour trois débits différents. Les résultats de cette étude ont révélé que le rendement thermique et le rendement global augmentent avec l'augmentation du débit d'air. Cependant, il a été observé que le capteur devient plus sensible aux conditions climatiques à mesure que le débit d'air augmente. [36]



Fig. II.11. Le capteur curviligne étudié avant et après la préparation. [36]

Réda Khama et al (2016) ont réalisé une étude expérimentale sur un capteur solaire plan intégré à un séchoir solaire de type indirect, spécifiquement conçu pour le séchage des produits agroalimentaires dans la région d'Ouargla, au sud-est de l'Algérie. L'objectif principal de cette étude était de comparer les performances du capteur en mode passif (ventilation naturelle) et en mode actif (ventilation forcée).

L'étude comparative a révélé que l'augmentation du rayonnement solaire avait une plus grande influence sur les températures du capteur solaire en ventilation naturelle qu'en ventilation forcée, où les valeurs de rendement thermique étaient meilleures. De plus, il a été observé que le rendement thermique augmentait de manière linéaire avec l'augmentation du rayonnement solaire dans la plage de 400 à 800 W/m², pour des vitesses d'air comprises entre 1 et 1,40 m/s. Cependant, l'effet de la vitesse d'air était négligeable lorsque le rayonnement solaire atteignait environ 800 W/m². [37]

LABBI ALI et al (2022) lors de leur étude ont permis de conclure que, lors de la comparaison des températures et de l'efficacité de trois capteurs solaires plans à air, orientés plein sud et inclinés à 33°, les chicanes parallèles se sont révélées plus efficaces que les autres types de chicanes.

L'analyse des données expérimentales a montré que les chicanes parallèles, utilisées dans la configuration du capteur solaire, ont entraîné une amélioration significative des performances thermiques. Les températures relevées et les valeurs d'efficacité obtenues pour ces capteurs étaient supérieures à celles des autres configurations de chicanes étudiées.

Ces résultats indiquent que l'utilisation de chicanes parallèles sur l'absorbeur du capteur solaire plan à air permet d'optimiser le transfert thermique et d'obtenir une meilleure efficacité. Cette conclusion est importante pour la conception et l'amélioration des capteurs solaires à air afin d'augmenter leurs performances énergétiques. [38]

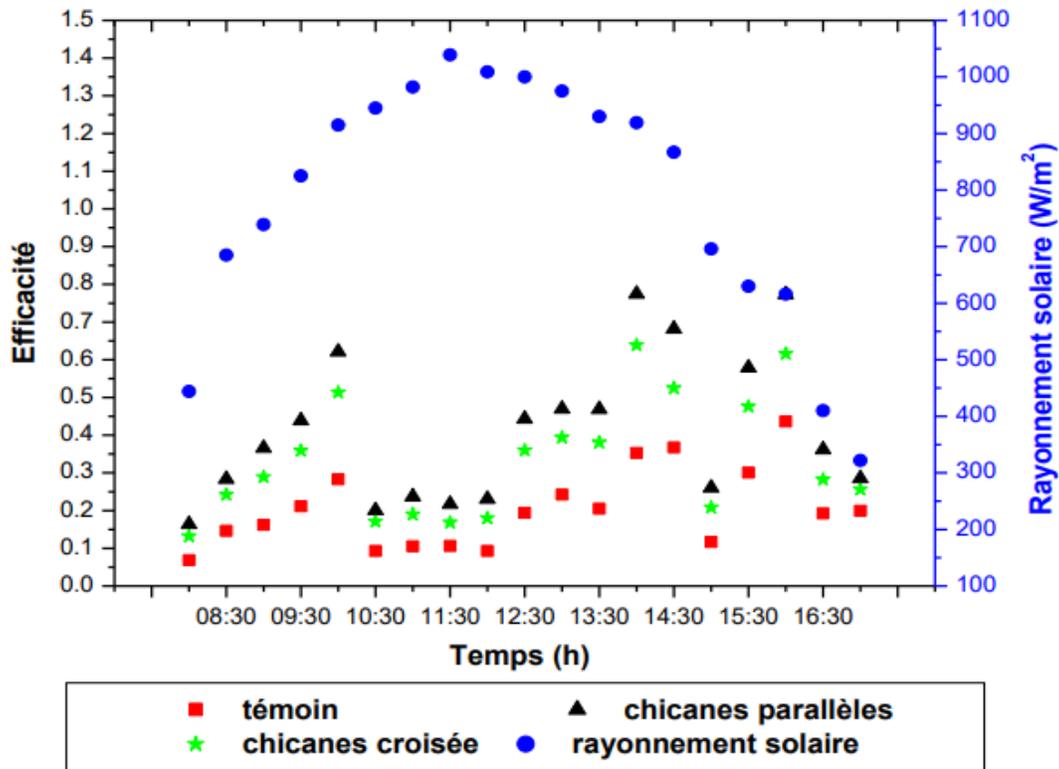


Fig. II.12. La forme de l'efficacité thermique pour les trois capteurs. [38]

M. Henaoui et al. (2017) ont exploré l'effet de l'ajout de barrettes perforées sur les chicanes placées à la fois sur l'isolant et sur l'absorbeur d'un capteur solaire. L'objectif était de créer des écoulements secondaires en plus de l'écoulement principal afin de diriger un débit maximum de fluide vers l'absorbeur. Cette étude a été réalisée en variant la vitesse d'entrée de l'air dans le capteur.

Les résultats obtenus ont montré une amélioration significative de la température de sortie de l'air pour le modèle de capteur doté de chicanes munies de barrettes perforées, en particulier aux vitesses d'entrée les plus basses. Cette évolution positive suggère que l'ajout de barrettes perforées favorise un meilleur transfert de chaleur, permettant ainsi d'optimiser les performances thermiques du capteur solaire.

Ces conclusions soulignent l'importance de considérer des modifications au niveau des chicanes pour améliorer l'efficacité des capteurs solaires et obtenir des températures de sortie d'air plus élevées, en particulier à faible vitesse d'entrée. Ces résultats peuvent contribuer à l'optimisation de la conception des capteurs solaires et à l'amélioration de leur rendement énergétique. [39]

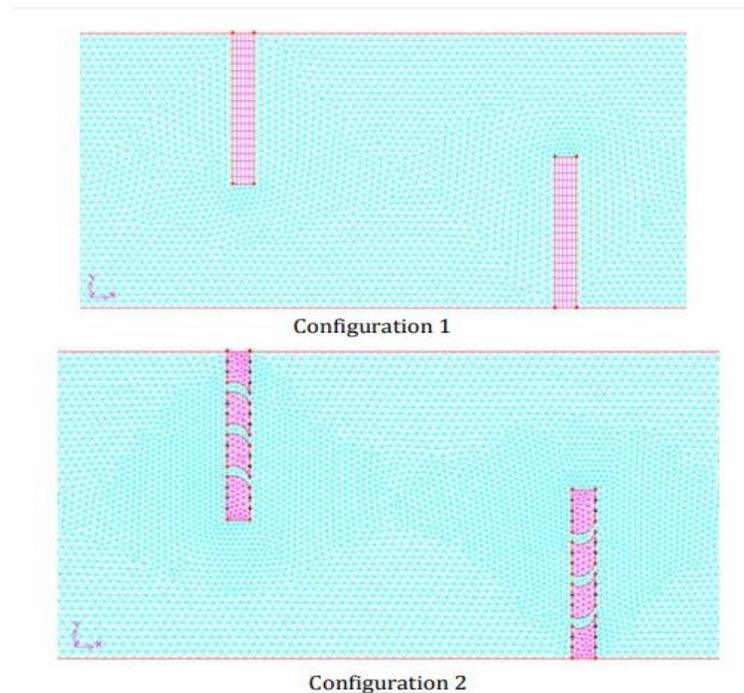


Fig. II.13. Maillage des 02 modèles étudiés. [39]

Armand Noël Ngueche Chedop et al. (2018) ont évalué les performances des capteurs solaires plans et des capteurs solaires à tubes dans les régions soudano-sahéliennes du Cameroun. Pour cela, ils ont réalisé une modélisation complète des capteurs solaires et effectué des simulations sur le logiciel TRNSYS en utilisant les données climatiques spécifiques de ces régions, telles que le rayonnement solaire, l'ensoleillement et la température.

Au cours des simulations, ils ont calculé l'énergie récupérée par le capteur solaire ainsi que l'énergie fournie par le chauffage auxiliaire, en se basant sur la surface du capteur et les conditions climatiques des mois d'avril et août 2012 dans les régions soudano-sahéliennes du Cameroun. Ces calculs leur ont permis d'évaluer le rendement des capteurs solaires, à la fois pour les capteurs plans et les capteurs à tubes sous vide, en utilisant les modèles TYPE 71 et TYPE 538 du logiciel TRNSYS.

Les résultats obtenus ont démontré que les capteurs à tubes sous vide présentaient de meilleurs rendements par rapport aux capteurs solaires plans, avec des valeurs comprises entre 79% et 81% contre 61,8% et 62,93% pour les capteurs solaires plans. Une différence significative de rendement, variant de 17,2% à 17,9%, a été observée entre les deux technologies de capteurs. Cette différence n'est pas négligeable et suggère que l'utilisation d'un capteur à tube sous vide plutôt qu'un capteur solaire plan pourrait permettre d'optimiser le rendement des capteurs solaires d'environ 17% pour une installation de climatiseur solaire à absorption dans la ville de Maroua.

Ces conclusions soulignent l'importance de choisir la technologie de capteur appropriée en fonction des conditions climatiques et des besoins spécifiques de chaque région. L'utilisation de capteurs à tubes sous vide peut offrir des avantages significatifs en termes de rendement énergétique dans les régions soudano-sahéliennes du Cameroun.[40]

K. Sopian et al (1999), ont mené une étude sur le rendement thermique d'un capteur solaire à doubles passes, en explorant l'effet de l'utilisation d'un milieu poreux dans le deuxième canal. L'objectif était d'évaluer l'influence de la modification de la profondeur

des canaux supérieurs et inférieurs, avec ou sans milieu poreux, sur le rendement thermique global. De plus, les chercheurs ont examiné les effets du débit d'air et du rayonnement solaire. Les résultats ont démontré que l'ajout d'un milieu poreux augmentait la surface de transfert thermique, entraînant ainsi une élévation de la température en sortie du capteur. Par ailleurs, les capteurs solaires à double passe ont affiché de meilleures performances thermiques que leurs homologues à simple passe. En effet, le rendement thermique des capteurs solaires à double passe avec milieu poreux a atteint environ 60 à 70%, ce qui représente une amélioration de 20 à 70% par rapport aux capteurs sans milieu poreux. [41]

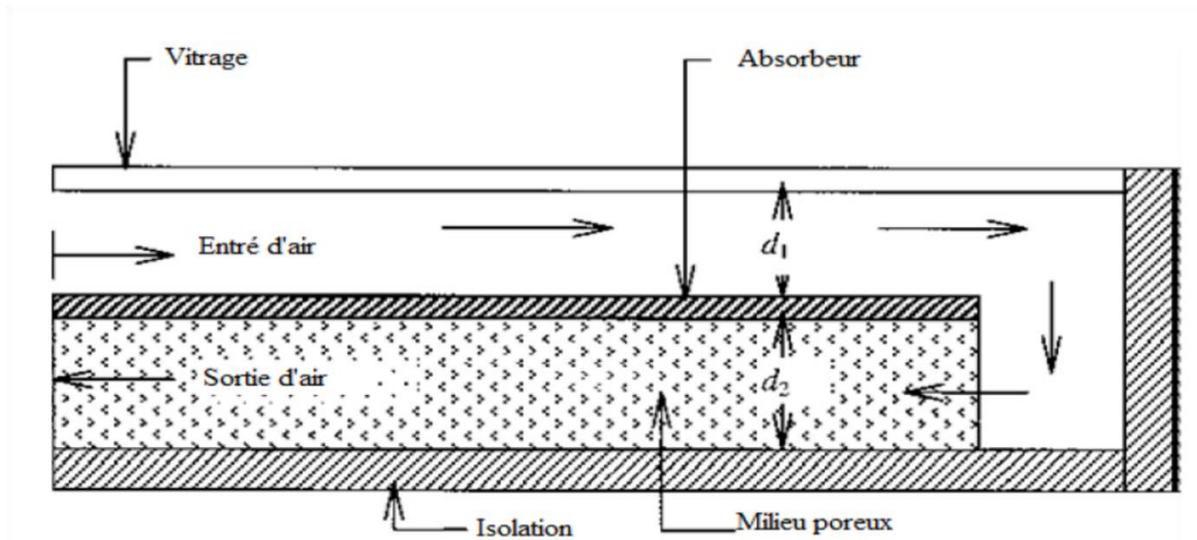


Fig. II.14. Schéma d'un capteur solaire thermique à double passe avec des milieux poreux dans le deuxième canal. [41]

II.3 Conclusion

En somme, cette recherche bibliographique met en évidence l'importance de la recherche dans le domaine des capteurs solaires en vue d'améliorer leur efficacité thermique et de maximiser leur production d'énergie. Les études antérieures ont examiné divers paramètres influents tels que l'inclinaison, le rayonnement solaire et la vitesse de l'air, et ont réussi à déterminer leur impact sur les performances thermiques des capteurs solaires. Ces résultats revêtent une importance capitale pour orienter la conception et l'optimisation des capteurs solaires, dans le but de favoriser une utilisation efficace et durable de l'énergie solaire.

Chapitre III

Procédure expérimentale

III.1 Introduction

Ce chapitre est consacré, dans un premier temps, à la réalisation d'un absorbeur thermique à air avec double passe et les matériaux utilisés pour sa construction. Dans un deuxième temps, nous présentons les différents appareils de mesure utilisés. Ensuite, nous présentons les résultats expérimentaux d'un étalonnage des capteurs thermiques (thermocouple). A la fin, nous présenterons le protocole de nos expériences.

III.2 Construction expérimentale de l'absorbeur

Pour la réalisation d'un capteur solaire à air à double passe avec deux plaques d'absorption différentes (plate et ondulée), nous avons commencé par construire un caisson composé d'une partie inférieure et d'une partie supérieure. La partie inférieure du caisson est sous forme d'un rectangle en bois fermé avec des planches et du multiplié afin de minimiser les pertes thermiques vers l'extérieur. Ses dimensions sont de 63 cm de largeur et 130 cm de longueur. Nous avons ensuite posé la partie supérieure, qui est également un rectangle de mêmes dimensions et sur laquelle est fixé un vitrage de 5 mm d'épaisseur. Nous avons fixé les deux rectangles de bois avec huit tirants métalliques (Fig. III.2), trois de chaque côté et deux à la base. Enfin, nous avons installé un support pour notre plaque d'absorption, qui mesure 59 cm de largeur et 120 cm de longueur. (Fig. III.1)



Fig. IV.1. Caisson et support d'absorbeur



Fig. IV.2. Rôle des tirants métalliques

La deuxième étape consiste à réaliser deux plaques d'absorption, l'une plane et l'autre ondulée. Nous avons coupé une tôle de surface $0,54\text{m}^2$ qui joue le rôle de l'absorbeur plat et une autre ondulée de surface $0,768\text{m}^2$. Nous avons utilisé de la peinture noire mate pour peindre la tôle pour simuler les caractéristiques d'un corps noir et absorber une plus grande quantité de rayonnement (Fig. III.3) et (Fig. III.4).



Fig. IV.3. Absorbeur plat en noir mate



Fig. IV.4. Absorbeur ondulé en noir mate

A la fin, nous avons coupé et placé sur toute la partie supérieure un vitrage de 63 cm de largeur, 130 cm de longueur et 5 mm d'épaisseur (Fig. III.5). Ce dernier est fixé à l'aide d'une colle silicone et renforcé par une cornière en aluminium. Le rôle du vitrage est d'assurer un effet de serre entre le vitrage et l'absorbeur. Les vides sont aussi scellés par la silicone pour éviter au maximum les pertes de chaleur à l'extérieur (Fig. III.6).



Fig. IV.5. Coupage du verre

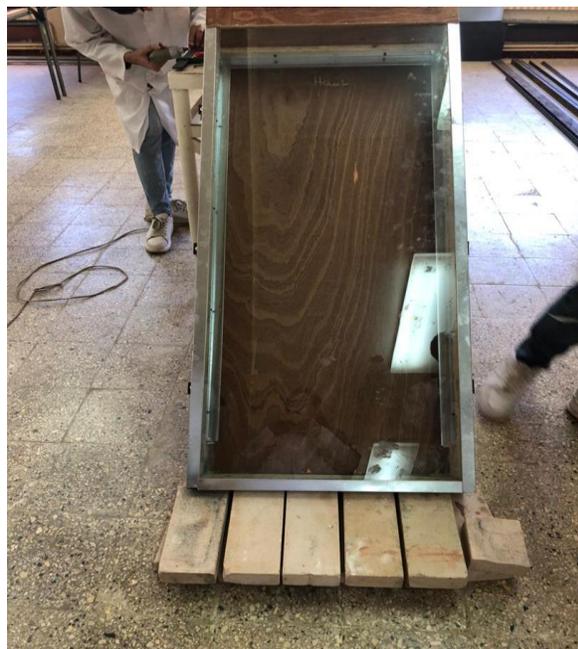


Fig. IV.6. Vitrage au-dessus de l'absorbeur



Fig. IV.7. Montage du ventilateur à la sortie du panneau

À la sortie du capteur, un extracteur sous forme de ventilateur simple est placé pour faciliter le passage d'air à l'intérieur du panneau solaire. Cette configuration est illustrée dans la (Fig. III.7).

Enfin, nous avons fabriqué une source thermique artificielle avec des lampes placées sur trois supports réalisés en BA13 et en bois, couverts par l'aluminium. Chaque support comporte 12 lampes de 100 W chacune. Leur but est de simuler un rayonnement solaire approprié pendant les expériences. Le support est incliné aussi à 47° parallèle à celui du panneau solaire et espacé d'une certaine distance.



Fig. IV.8. Support du capteur solaire



Fig. IV.9. Source thermique artificielle

III.3 Appareils de mesures

III.3.1 Contrôleur d'incubateur XM18D XM-18D

Il est équipé d'un affichage numérique qui permet de surveiller la température, l'humidité et la fréquence de rotation avec précision. Le capteur de température utilise une technologie de haute précision pour une collecte précise des données de température sur une large plage de températures. Le capteur d'humidité de haute performance garantit la stabilité et la fiabilité de l'appareil pour un contrôle efficace de l'incubation [27].



Fig. IV.10. Contrôleur d'incubateur XM18D XM-18D

III.3.2 Solarimètre

Il s'agit d'un dispositif de mesure de l'intensité des ondes électromagnétiques émises par le rayonnement solaire. Il peut être utilisé pour mesurer la luminosité du ciel en météorologie, ou pour quantifier la lumière reçue sur le sol dans des environnements tels que les forêts ou les serres.



Fig. IV.11. Solarimètre pour mesure de rayonnement

III.3.3 Débitmètre, Thermo-anémomètre digital 9160SI

Cet instrument est un anémomètre digital doté d'une hélice qui offre non seulement la fonctionnalité de mesure de la vitesse du vent, mais également celles de débitmètre et de thermomètre. Il est capable de mesurer la vitesse et la température de l'air qui circule à une vitesse inférieure à 30 m/s, ainsi que de calculer le débit absolu et relatif (en m^3/minute) à travers toutes les surfaces. La mesure est simple et facile grâce à son capteur à hélice déporté, et l'instrument dispose d'un grand affichage rétroéclairé facile à lire, ainsi que d'une coque de protection.



Fig. IV.12. Débitmètre, thermo-anémomètre digital 9160SI

III.3.4 LabVIEW

LabVIEW, "Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench", est une plateforme graphique de conception et de programmation largement utilisée par les ingénieurs et les scientifiques pour créer des systèmes de mesure et de contrôle. Cette plateforme offre une compatibilité avec divers périphériques matériels et repose sur l'environnement de développement graphique développé par National Instruments.

LabVIEW comprend deux fenêtres principales, dont l'une est appelée "face avant". La fenêtre "face avant" permet d'afficher les commandes et les indicateurs utilisés dans l'interface, qui correspondent respectivement aux terminaux d'entrée et de sortie. Les objets présents dans la fenêtre "face avant" sont représentés sous forme de terminaux sur le diagramme. Ces terminaux, qui sont des ports d'entrée et de sortie, facilitent l'échange d'informations entre la "face avant" et le diagramme. Ils sont similaires aux paramètres et aux constantes que l'on retrouve dans les langages de programmation textuels.[42]

III.3.5 Thermocouple

Le principe de mesure des températures par thermocouple repose essentiellement sur l'effet Seebeck. Pour cela, deux fils métalliques de compositions différentes sont reliés à une extrémité où la température est élevée. Cette augmentation de température génère une tension électrique, notée e_{AB} , aux extrémités libres des fils. En mesurant cette tension, il est possible de déterminer la température de l'extrémité chauffée [28].

Tableau IV.1: les caractéristiques des types des Thermocouples[29]

Type	Métal a -	Métal b +	Plages utilisation
J	Fer	Constantan	-40 à +750 c
K	Chromel	Alumel	-40 à 1200 c
S	Platin10% rhodium	Platine	0 à 1600 c
T	Cuivre	Constantan	-40 à 750 c

III.4 Étalonnage et précision des capteurs

Après avoir terminé notre absorbeur, nous avons élaboré une première expérience qui est l'étalonnage des thermocouples.

On a utilisé des méthodes simples pour diminuer l'erreur de mesures. D'abord il faut choisir des capteurs de même qualité (Fig. III.13) et produit du même constructeur. Les rassembler par des fils souples de telle façon que les têtes des sondes se retrouvent grouper sur un même point sans qu'ils rentrent en contact. Ces capteurs sont placés avec un ou deux capteurs de bon qualité (de marque Testo, utilisés comme référence), puis sont immergés dans une casserole (Fig. III.14) d'eau sans qu'ils touchent les parois de la casserole. Sur un feu doux, on enregistre l'évolution temporelle de température de tous les capteurs au même point et pour la même évolution de température de l'eau. Cette évolution de température

nous permet de comparer la fiabilité et la précision et le temps de réponse de tous les capteurs comparativement à celui de bonne qualité et éliminer ceux qui sont défectueux.



Fig. IV.13. Capteurs thermocouple de type K



Fig. IV.14. Présentation de l'expérience d'étalonnage

III.4.1 Résultats d'étalonnage

Au cours du processus d'étalonnage, on a constaté que le capteur 13 diverge par rapport aux autres capteurs (Fig. III.13), ce qui nous a poussés à l'écarter des expériences. Un nouvel étalonnage a été réalisé sans le capteur 13. On a constaté aussi qu'après 1750 s et 30 °C que le capteur 5 prend de l'ampleur et diverge aussi par rapport aux autres capteurs (Fig. III.16). En conséquence, ce dernier a été exclu de l'étude. Cependant, un seul capteur (capteur n°1) a présenté une légère déviation par rapport aux autres capteurs (Fig. III.17) Ainsi, nous avons effectué nos expériences avec le reste des capteurs, à l'exception des capteurs n°13, 5 et 1.

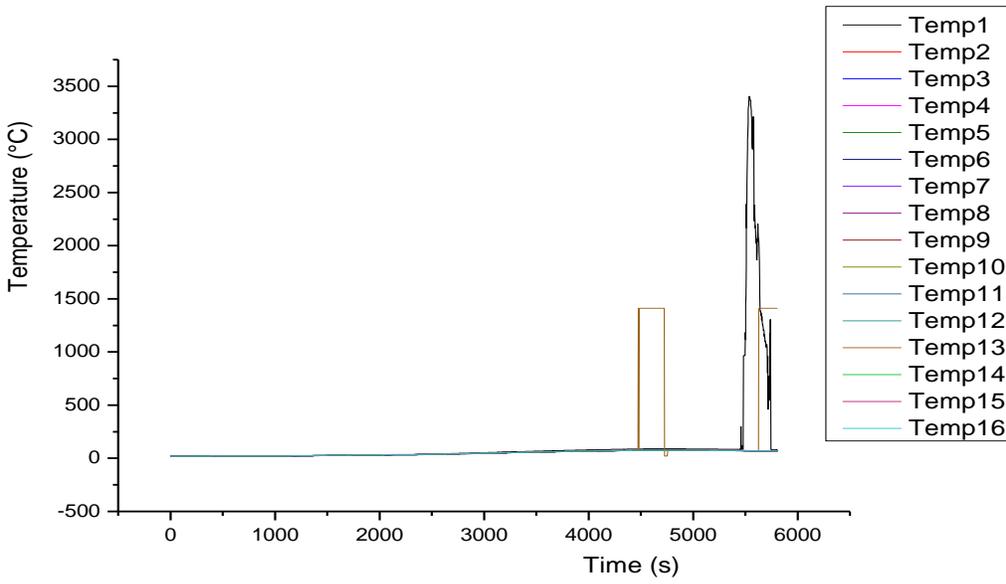


Fig. IV.15. Divergence du capteur 13

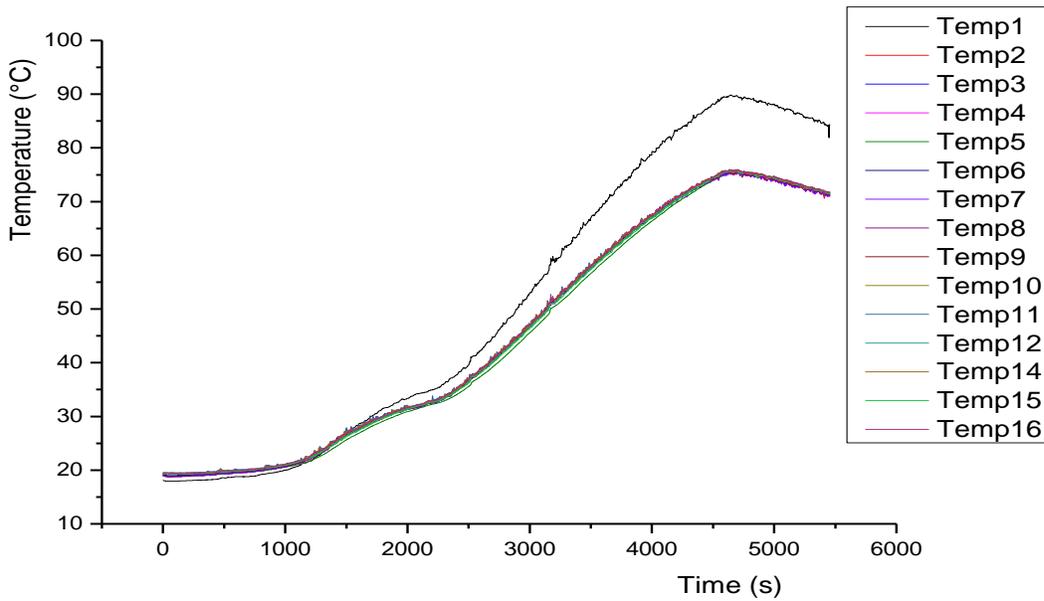


Fig. IV.16. Divergence du capteur 5 après 1750 s

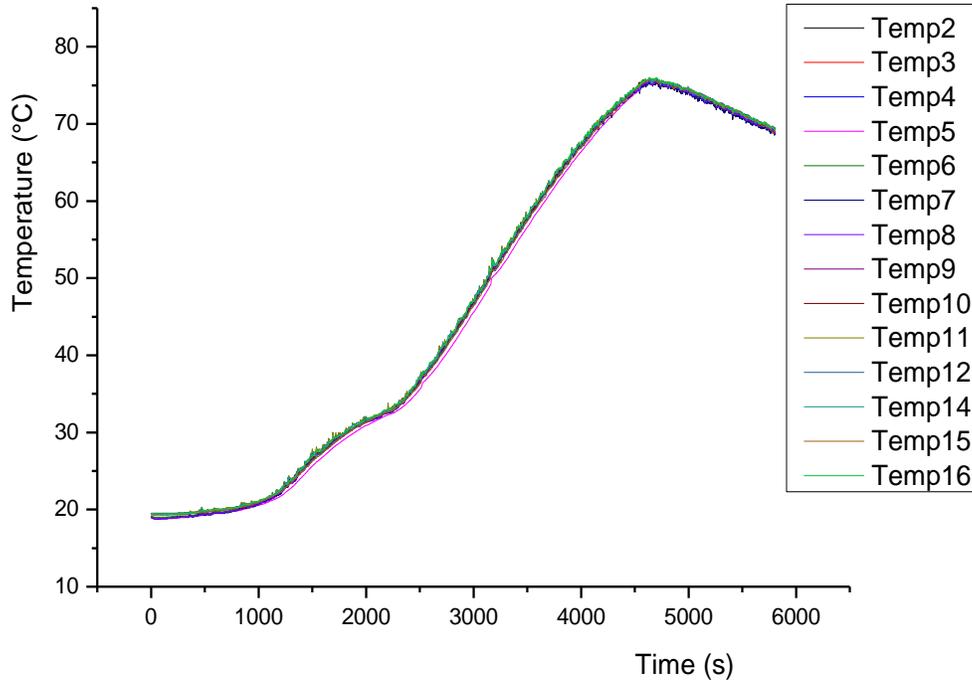


Fig. IV.17. Légère divergence du capteur 1

III.5 Protocol expérimental

Les capteurs de température sont installés comme suit :

- Deux capteurs à l'extérieur pour mesurer la température ambiante,
- Trois capteurs sur l'absorbeur (au début, au milieu et l'extrémité),
- Deux autres capteurs sur la partie supérieure et inférieure de la vitre,
- Deux capteurs à l'entrée et à sa sortie du capteur (Fig.III.13).

En reliant ces thermocouples à un ordinateur équipé du logiciel LABVIEW, nous relevons à chaque seconde les températures aux différents points cités précédemment sur le capteur, ce qui nous a permis de tracer les différentes courbes du chapitre 4.

Le débitmètre est placé sur l'extracteur à la sortie d'air pour mesurer le débit durant l'expérience (Fig.III.16).

Les sondes des deux contrôleurs d'humidité (CONTROLLER XM18D) sont placées aussi à l'entrée et à la sortie du capteur afin de mesurer l'humidité et confirmé les températures (Fig. III.10).

Après réglage de tous les appareils de mesures. Nous exposons l'absorbeur à la source thermique artificielle placée à une distance de 17 cm (distance choisie après plusieurs essais) et en parallèle avec l'absorbeur pour que le rayonnement soit perpendiculaire (Fig. III.17) et (Fig. III.16).

Les expériences sont réalisées selon quatre (04) écarts utilisés entre le vitrage et les deux absorbeurs, à savoir 12, 9, 6 et 3cm.



Fig. IV.18. Emplacement des capteurs sur absorbeur Fig. IV.19. Distance entre soleil et absorbeur



Fig. IV.20. Source thermique et absorbeur en parallèle durant l'expérience

III.6 Analyse la performance thermique

III.6.1 Analyse énergétique

On a calculé l'énergie du collecteur (Q_u) par la formule suivant [43], [44]:

$$Q_u = \dot{m} c_p (T_{out} - T_{in}) \quad (\text{III.1})$$

Tandis que :

\dot{m} : débit massique

c_p : chaleur spécifique d'air (J/Kg °C) [45]:

$$c_p = 1.0057 + 0.000066(T_{amb} - T_{moy}) \quad (\text{III.2})$$

L'efficacité thermique du chauffage (η_{th}) est définie comme le taux de gain de chaleur utile de l'air à travers le chauffage par rapport à l'énergie solaire incidente sur la surface du chauffage, ce qui est donné par :

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{I A_b} \quad (\text{III.3})$$

Tandis que :

A_b : Surface de la plaque d'absorption (m^2)

I : Irradiation solaire incident au collecteur (W/m^2)

III.6.2 Analyse exergetique

L'énergie est une mesure du travail utile maximal qui peut être effectué par le système interagissant avec un environnement à conditions constantes. L'énergie peut être obtenue à partir de l'analyse suivante [44], [46], [47]

$$\eta_{th} = \frac{EX_{out}}{EX_{in}} \quad (III.4)$$

$$EX_{out} = \dot{m} [h_{out} - h_{in} - T(S_{out} - S_{in})] \quad (III.5)$$

$$EX_{in} = \left(1 - \frac{T_{out}}{T_{in}}\right) Q_S \quad (III.6)$$

$$S_{out} - S_{out} = C_p \text{Ln} \frac{T_{out}}{T_{in}} - R \text{Ln} \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (III.7)$$

$$Q_S = I(\alpha \tau) A_b \quad (III.8)$$

Tandis que :

EX_{out} : Exergie à la sortie de collecteur

EX_{in} : Exergie à l'entrée de collecteur

Q_S : Energies solaire absorbé par le capteur

α : Coefficient absorption de corps noir

τ : Facteur de transmission de vitrage

III.7 Conclusion

Dans cette section, nous avons présenté en détail notre capteur solaire à air, malgré le manque flagrant de matériel. Grâce à l'aide de nos encadreurs et de leur savoir-faire, nous avons pu réaliser le montage et apprendre les différentes méthodes de fabrication, tout en prenant conscience de l'importance des matériaux utilisés tels que le vitrage pour l'effet de serre, la peinture noire pour le corps noir et le bois pour l'isolation thermique.

Nous avons également compris le rôle crucial et l'utilisation appropriée de chaque appareil de mesure, en particulier pour les capteurs thermiques qui sont essentiels pour évaluer la performance du capteur solaire à air. Nous avons suivi une méthode simple et efficace pour étalonner les capteurs thermiques, afin de minimiser les erreurs systématiques et garantir des résultats précis et fiables.

En somme, cette expérience de fabrication de capteur solaire à air nous a permis de comprendre en détail les principes de fonctionnement, l'importance des matériaux et l'utilisation adéquate des instruments de mesure pour évaluer la performance du dispositif. Ce savoir-faire et cette compréhension nous aideront à améliorer les futures réalisations de capteurs solaires à air, ainsi que d'autres projets qui utilisent l'énergie solaire.

Chapitre IV

Résultats et discussion

IV.1 Introduction

Le développement des énergies renouvelables est devenu une préoccupation majeure dans le monde entier. Dans ce contexte, les capteurs solaires à air sont de plus en plus utilisés pour la production d'énergie thermique à partir de la lumière solaire. Ces capteurs peuvent être utilisés pour chauffer de l'eau ou de l'air, ce qui permet de répondre à différents besoins en énergie.

Dans ce chapitre, nous allons étudier deux types de capteurs solaires à air : le premier à absorbeur plan et le deuxième avec ondulation. L'étude expérimentale est menée pour mesurer la performance de ces deux capteurs en termes de température, d'énergie, de rendement et d'exergie selon quatre (04) écarts utilisés entre l'absorbeur et le vitrage à savoir 12, 9, 6 et 3cm.

Nous avons réalisé des tests en utilisant ces deux types de capteurs solaires à air sous des conditions contrôlées. Nous avons enregistré les températures le débit d'air circulé et le rayonnement imposé ainsi que la quantité d'énergie et l'exergie produites par le capteur. Nous avons également mesuré le rendement des capteurs, qui est un indicateur clé de leur efficacité.

Dans la suite de ce chapitre, nous allons présenter les résultats de nos tests sous forme de graphiques pour illustrer les différences de performances entre les capteurs à absorbeur plan et celui à absorbeur ondulé à différents écarts du vitrage. Nous interprétons également les résultats pour l'utilisation des capteurs solaires à air dans différents contextes.

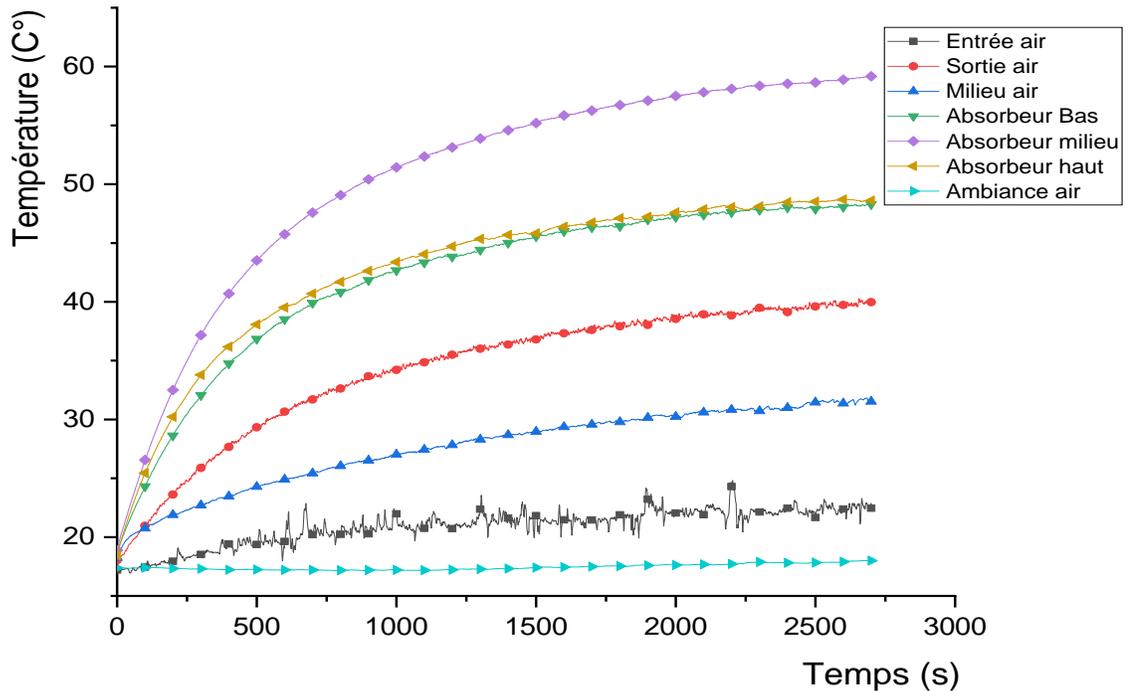


Fig. V.1. Exemple de l'évolution temporelle de différentes températures lors d'un premier essai

La Fig. IV.1 représente un exemple d'évolution temporelle de différentes températures lors d'un premier essai. Initialement, la température de l'air à l'entrée est relativement basse, puis elle augmente progressivement à mesure que l'air circule à travers le capteur solaire. Cela suggère que l'air absorbe de la chaleur de l'absorbeur solaire pendant son parcours à l'intérieur du capteur. La température de sortie de l'air est plus élevée que la température d'entrée, indiquant que le capteur solaire a réussi à transférer de la chaleur à l'air en circulation. Une augmentation progressive de la température de sortie de l'air au fil du temps peut suggérer une absorption continue et efficace de la chaleur.

La température à la base de l'absorbeur reste relativement proche de celle en haut. Cependant, la température au milieu de l'absorbeur est plus élevée que celle en bas et en haut, car elle reçoit une quantité plus importante de chaleur provenant de la source lumineuse artificielle.

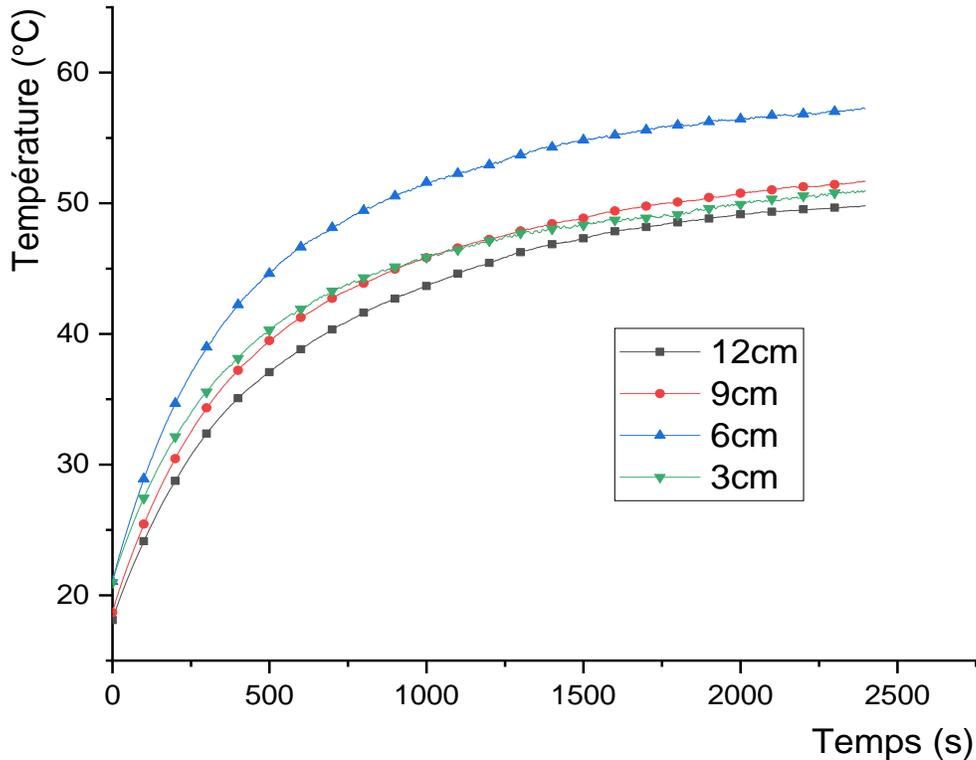


Fig. V.2. Evolution temporelle de la température moyenne de l'absorbeur plat selon les écarts 12, 9, 6 et 3 cm du vitrage

La Fig. IV.2 représente l'évolution temporelle de la température moyenne de l'absorbeur plat en fonction de la distance entre celui-ci et le vitrage, avec des écarts de 12, 9, 6 et 3 cm. Au début de l'expérience, les températures augmentent de manière exponentielle jusqu'à ce que les courbes se stabilisent. On peut observer que l'écart de 6 cm entre l'absorbeur et le vitrage conduit à une température moyenne la plus élevée, de l'absorbeur, atteignant 57 °C suivi par les écarts 12, 9 et 3 cm, avec des températures respectives de 51, 50 et 49 °C. Ces résultats suggèrent que l'écart 6 cm est le plus efficace pour maximiser la température de l'absorbeur.

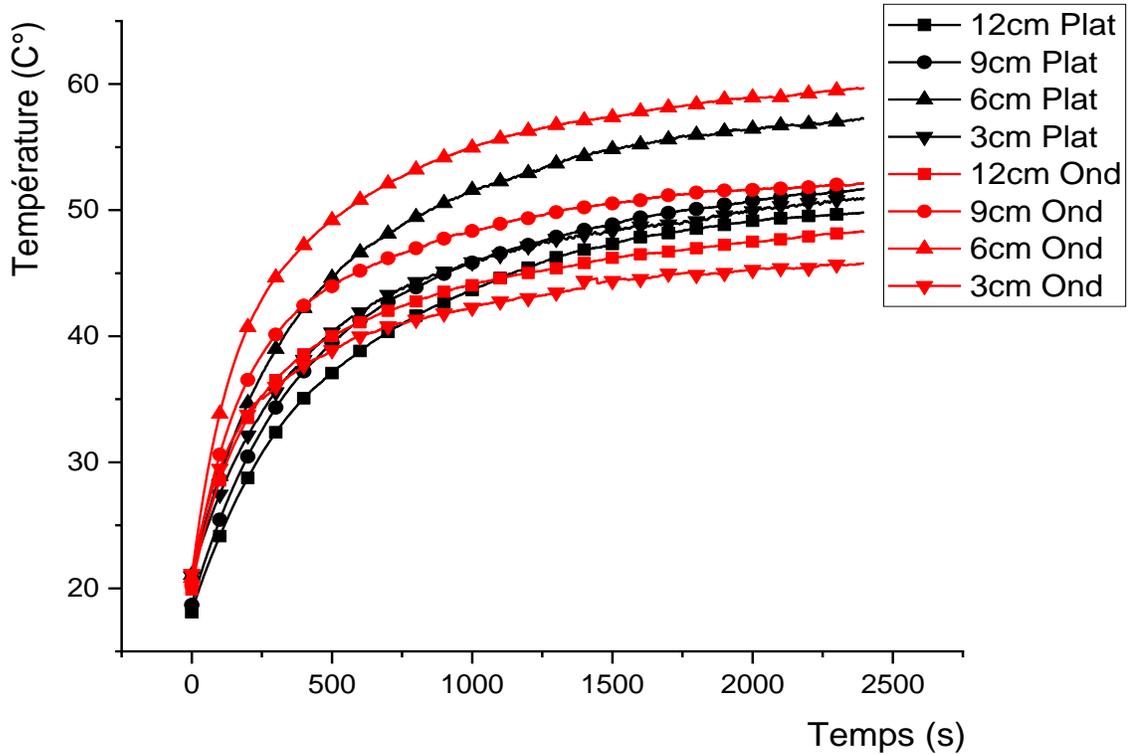


Fig. V.3. Evolution temporelle des températures moyennes de l'absorbeur plat et ondulé selon les écarts 12, 9, 6 et 3 cm du vitrage

La Fig. IV.3 représente l'évolution temporelle des températures moyennes de l'absorbeur plat et de l'absorbeur ondulé, en fonction des écarts de 12, 9, 6 et 3 cm par rapport au vitrage. En comparant les températures moyennes des deux types d'absorbeurs, on peut observer que l'écart de 6 cm pour l'absorbeur ondulé conduit à la température moyenne la plus élevée, atteignant 59 °C par rapport à l'absorbeur plat qui atteint 56 °C pour le même écart. Ces résultats indiquent que, pour cet écart spécifique, l'absorbeur ondulé est plus efficace pour atteindre des températures plus élevées.

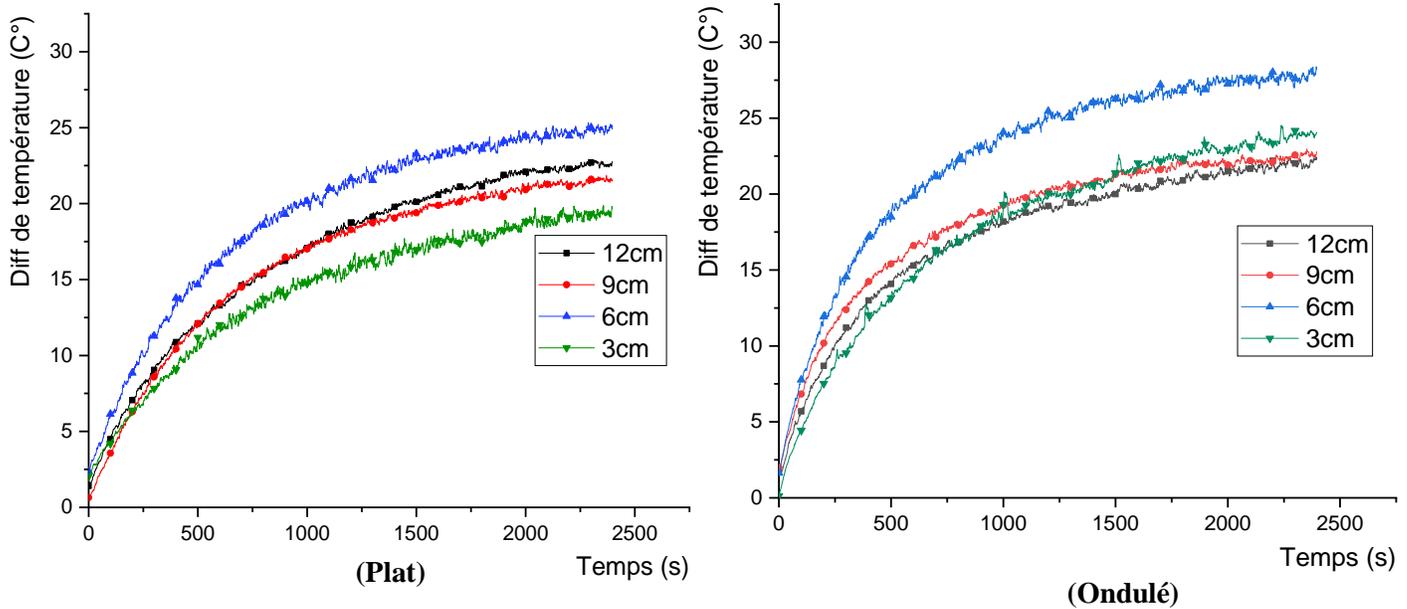


Fig. V.4. Evolution temporelle des différences de température pour l'absorbeur plat et l'absorbeur ondulé selon les écarts 12, 9, 6 et 3 cm du vitrage

La Fig. IV.4 représente l'évolution temporelle des différences de température ($T_{out} - T_{in}$) pour l'absorbeur plat et ondulé, en fonction des écarts de 12, 9, 6 et 3cm par rapport au vitrage. En examinant les graphiques, on peut constater que les différences de température varient considérablement en fonction de l'écart entre l'absorbeur et le vitrage. L'écart de 6 cm entre le vitrage et l'absorbeur génère, à la fin de l'expérience, une différence de température maximale de 25 et 29 °C respectivement pour l'absorbeur plat et ondulé. Plus précisément, la différence de température est plus élevée pour l'absorbeur placé à 6 cm du vitrage, tandis que les autres écarts présentent des valeurs relativement proches.

Ces résultats démontrent un gain de 21,9% pour l'absorbeur Plat et 20,23% pour l'absorbeur ondulé. Il est donc suggéré que l'emplacement de l'absorbeur joue un rôle important dans l'efficacité globale du capteur solaire. Les futures conceptions pourraient tirer profit de ces résultats pour optimiser l'emplacement de l'absorbeur et améliorer ainsi les performances du système.

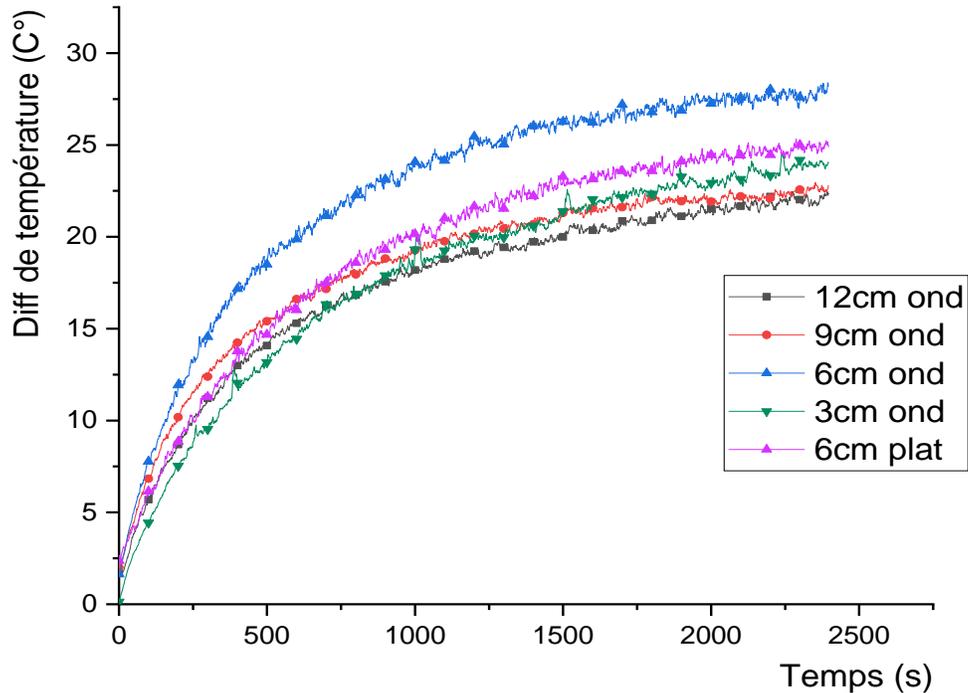


Fig. V.5. Evolution temporelle des différences de température selon le meilleur écart de l'absorbteur plat (6cm) et les écarts 12, 9, 6 et 3cm de l'absorbteur ondulé

La Fig. IV.5 représente l'évolution temporelle des différences de température entre le meilleur écart pour l'absorbteur plat (6cm) et les écarts de 12, 9, 6 et 3 cm pour l'absorbteur ondulé. On constate que dès le début de l'expérience, l'absorbteur ondulé se révèle supérieur à l'absorbteur plat, affichant une différence de température plus élevée d'environ 5 °C à partir 500 s. Cette supériorité persiste tout au long de l'évolution temporelle, mettant en évidence la capacité de l'absorbteur ondulé à capturer et à absorber plus efficacement l'énergie solaire grâce à sa conception spécifique. Les autres écarts (de l'absorbteur ondulé) enregistrent des différences de températures plus au moins rapprochées de celles de l'absorbteur plat. Ces résultats confirment l'avantage de l'absorbteur ondulé en termes d'efficacité thermique par rapport à l'absorbteur plat.

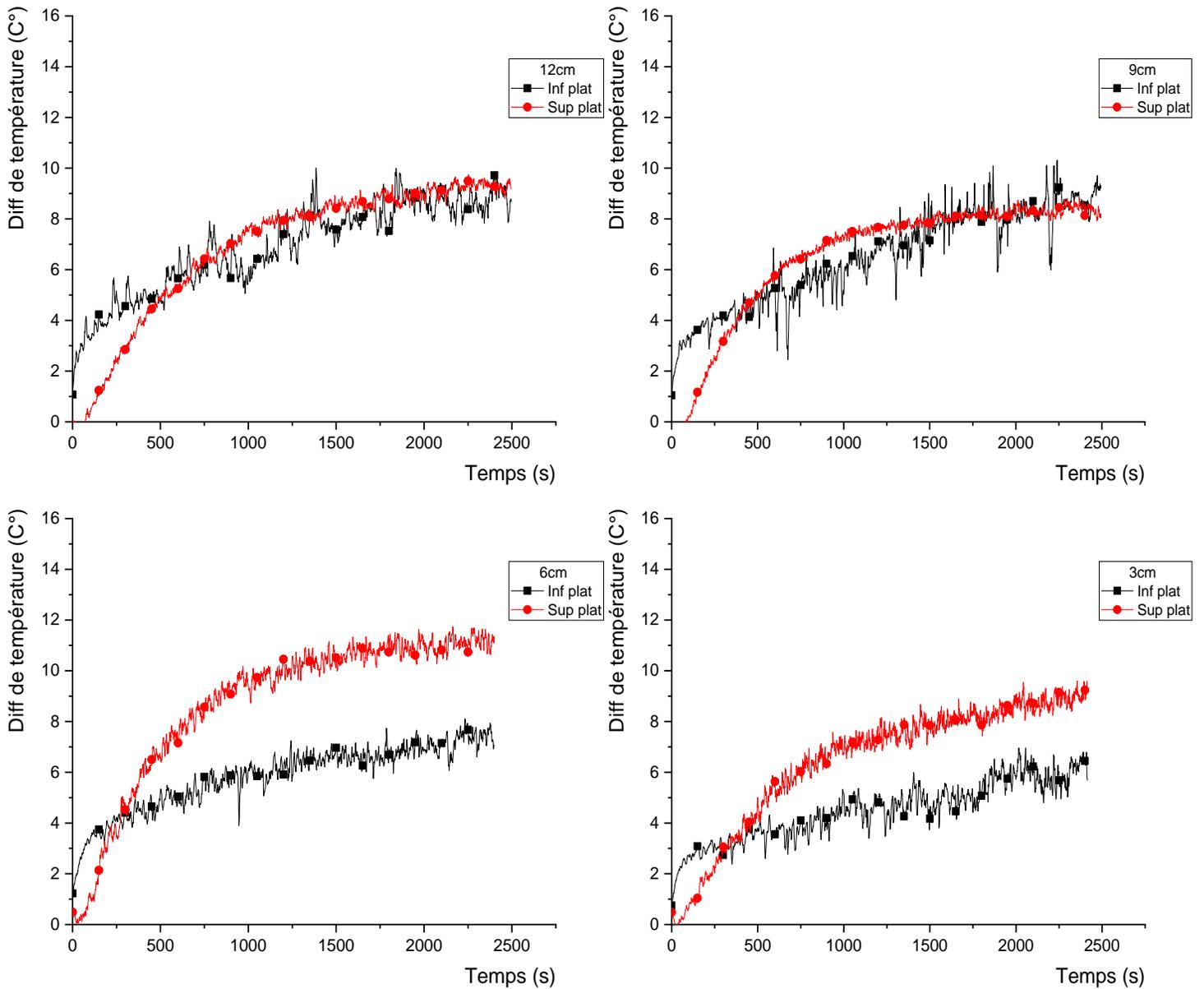


Fig. V.6. Evolution temporelle des différences de température de l'absorbeur plat pour les écarts 12, 9, 6 et 3 cm de la partie inférieure et supérieure du panneau

Durant la conception du panneau solaire, l'absorbeur mobile divise le panneau en deux sections variables. La première section se situe en-dessous de l'absorbeur, où l'air effectue son premier passage, tandis que la deuxième section se trouve entre l'absorbeur et

le vitrage, où l'air effectue son deuxième passage. L'objectif de cette étude est d'analyser la meilleure captation d'énergie et d'exergie ainsi que le meilleur rendement en déplaçant l'absorbeur de 3, 6, 9 et 12 cm par rapport au vitrage.

Il est important de noter que la variation de l'écart entre l'absorbeur et le vitrage de 3, 6, 9 et 12 cm sur la partie supérieure entraîne une variation correspondante au niveau de la partie inférieure de 15, 12, 9 et 6 cm respectivement. Cette variation symétrique assure un équilibre dans la configuration du panneau solaire, permettant une analyse comparative cohérente des différents écarts étudiés

Evolution temporelle des différences de température de l'absorbeur plat pour les écarts 12, 9, 6 et 3 cm de la partie inférieure et supérieure du panneau

La Fig. IV.6 présente l'évolution temporelle des différences de température de l'absorbeur plat en fonction des écarts de la partie inférieure et supérieure du panneau, à savoir 12, 9, 6 et 3 cm. Les résultats montrent que la différence de température pour l'écart supérieur est généralement plus élevée que celle de l'écart inférieur pour tous les écarts considérés.

On observe pour les écarts de 12 et 9 cm, les différences de température entre l'écart inférieur et l'écart supérieur sont relativement proches. En revanche, pour les écarts de 6 et 3 cm, les différences de température pour l'écart supérieur sont plus élevées par rapport à celles de l'écart inférieur, indiquant une tendance à une plus grande augmentation de la température dans la partie supérieure du panneau. Cela suggère que des facteurs liés à l'écart supérieur, tels que la proximité de la source de chaleur ou les propriétés thermiques spécifiques, peuvent jouer un rôle significatif dans l'élévation de la température. Cependant, il convient de noter que d'autres variables et conditions expérimentales peuvent également influencer cette relation complexe entre les écarts et les différences de température observées. Des facteurs tels que la conductivité thermique des matériaux, l'orientation du panneau solaire par rapport au soleil, les flux d'air, etc., peuvent tous avoir un impact sur les résultats. Par conséquent, une analyse approfondie de ces facteurs est nécessaire pour

comprendre pleinement l'interaction entre les écarts et les différences de température dans le panneau solaire.

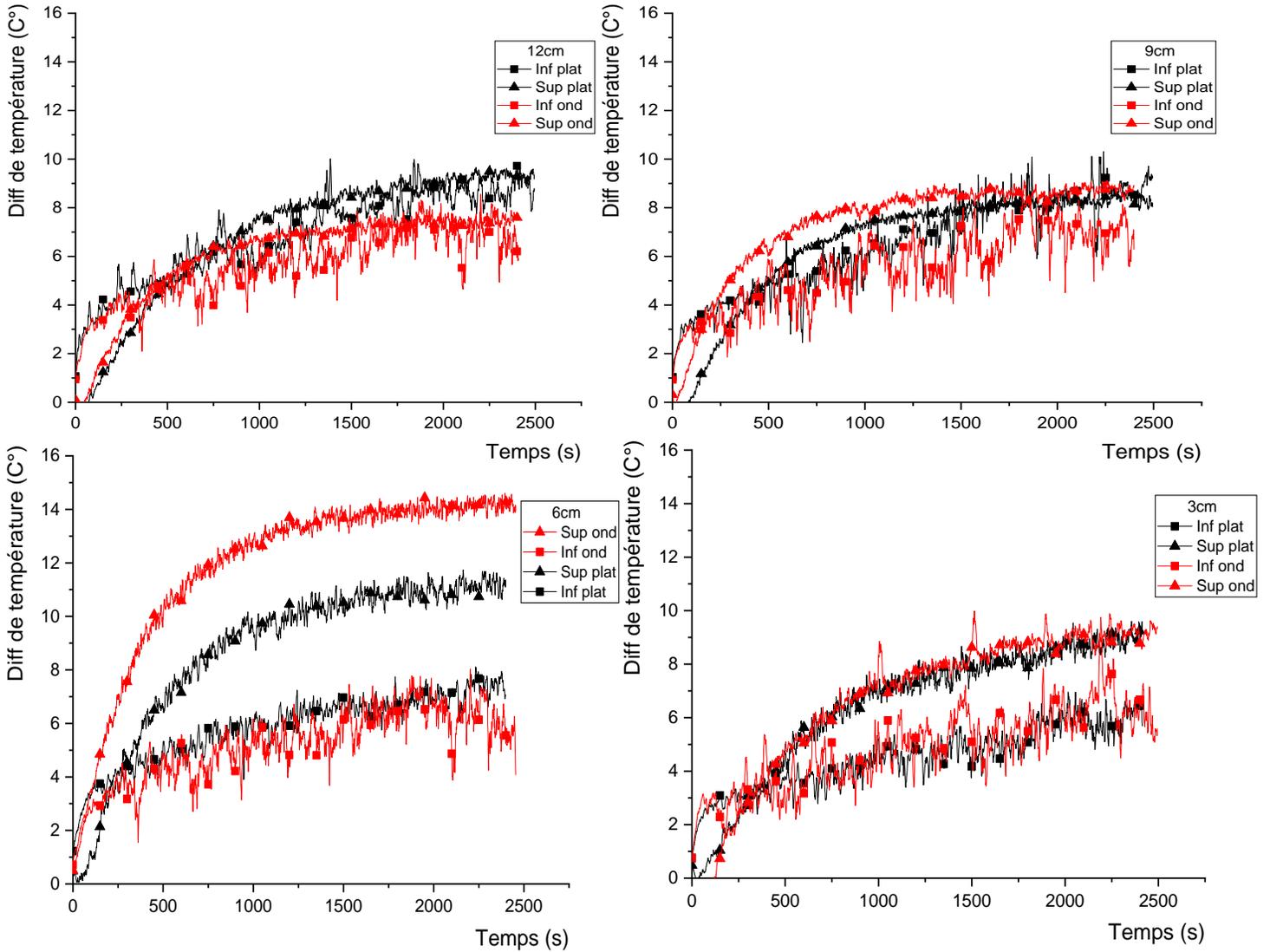


Fig. V.7. Evolution temporelle de la différence de température pour l'absorbeur plat et l'absorbeur ondulé selon les écarts 12, 9, 6 et 3cm inférieur et supérieur

La Fig. IV.7 présente l'évolution temporelle de la différence de température pour l'absorbeur plat et l'absorbeur ondulé en fonction des écarts inférieurs et supérieurs de 12,

9, 6 et 3cm. En comparant les différences de température inférieure et supérieure pour ces écarts, des différences significatives sont observées entre l'absorbeur plat et l'absorbeur ondulé. Notamment, pour l'écart de 6 cm, l'absorbeur ondulé présente une différence de température supérieure pour l'écart supérieur ($T_{out}-T_{moy}$) par rapport à celle de l'absorbeur plat. Cette observation peut s'expliquer par les propriétés spécifiques de l'absorbeur ondulé, qui offre une surface de contact plus importante avec la source de chaleur. Cela permet à l'absorbeur ondulé d'absorber plus efficacement l'énergie solaire, conduisant ainsi à une augmentation de la température dans la partie supérieure du panneau.

Cependant, pour les écarts de 12, 9 et 3 cm, les différences de températures inférieure et supérieure pour les deux types d'absorbeurs sont plus proches. Cela suggère que l'écart choisi a moins d'influence sur la distribution de température dans le panneau solaire pour ces valeurs spécifiques. D'autres facteurs tels que la conductivité thermique des matériaux ou l'orientation du panneau peuvent jouer un rôle plus important dans ces cas.

Ces résultats mettent en évidence l'importance de la conception de l'absorbeur dans l'efficacité globale du panneau solaire. Les propriétés spécifiques de l'absorbeur ondulé lui confèrent un avantage en termes de différences de température supérieure, ce qui peut contribuer à une meilleure performance du panneau solaire. Cependant, il est essentiel de prendre en compte d'autres variables et conditions expérimentales pour une compréhension complète de cette relation complexe.

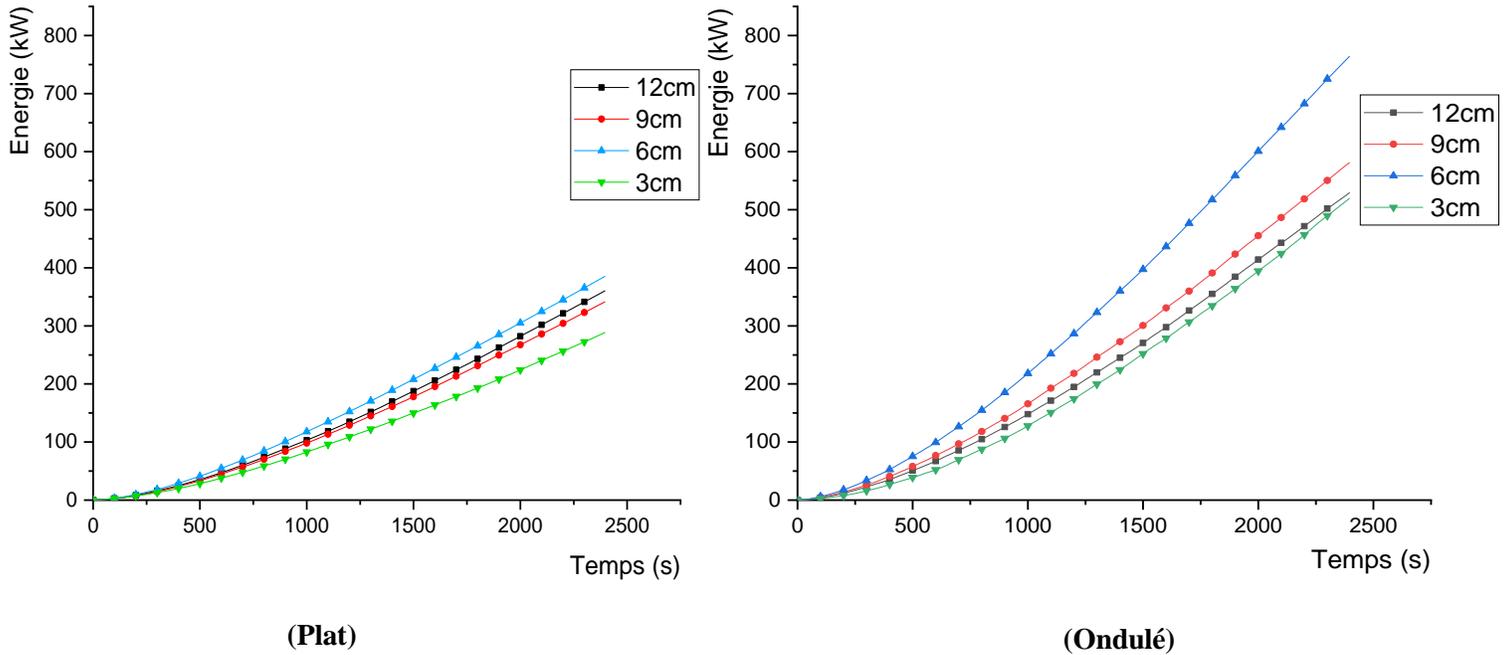


Fig. V.8. Evolution temporelle de l'énergie pour l'absorbeur plat et ondulé selon les écarts 12, 9, 6 et 3 cm du vitrage

La Fig. IV.8 représente l'évolution temporelle de l'énergie en fonction des quatre écarts 12, 9, 6 et 3 cm utilisés entre les 2 absorbeurs (plat et ondulé) et le vitrage. On remarque une quantité d'énergie maximale de 368 et 764 kW enregistrée respectivement pour l'absorbeur plat et ondulé placé tous les deux à 6 cm du vitrage. Ces valeurs correspondent à 25,06, % et 41,2% du gain énergétique pour l'absorbeur plat et ondulé. Cela suggère que l'énergie récupérée varie considérablement en fonction de la forme et de l'écart utilisé entre l'absorbeur et le vitrage.

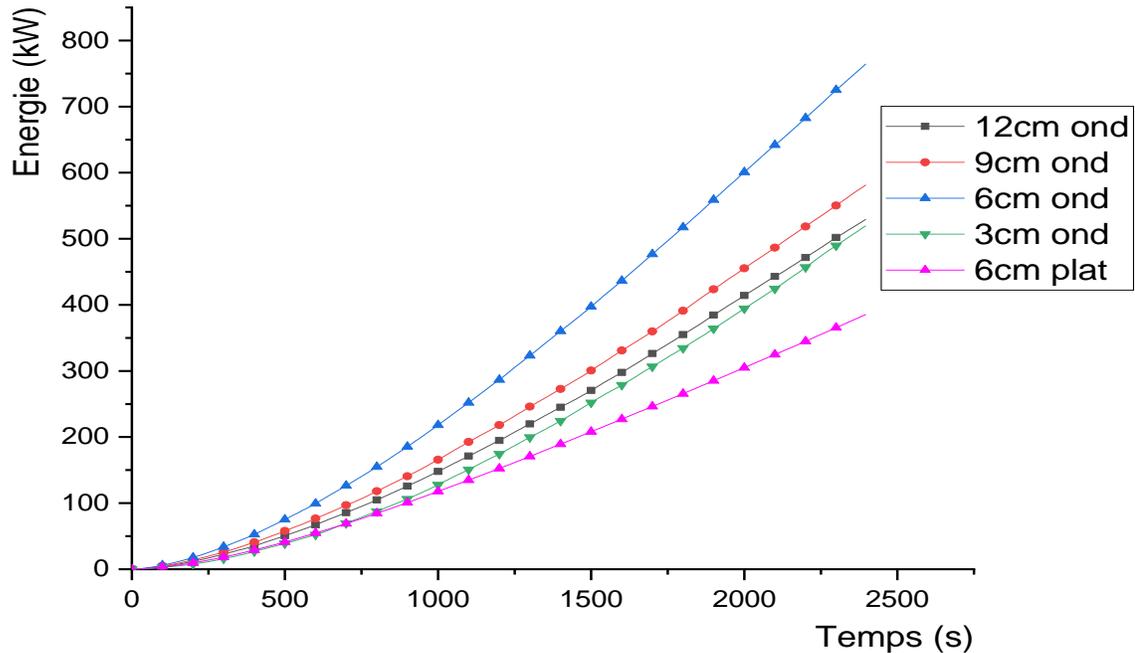


Fig. V.9. Evolution temporelle de l'énergie pour l'absorbeur ondulé selon les écarts 12, 9, 6 et 3cm du vitrage et pour 6cm d'écart utilisé pour l'absorbeur plat

La Fig. IV.9 représente l'évolution temporelle du stockage d'énergie pour différents écarts entre l'absorbeur ondulé (avec des écarts de 12, 9, 6 et 3 cm) et l'absorbeur plat (avec un écart de 6 cm).

On peut observer que les écarts utilisés entre l'absorbeur ondulé et le vitrage permettent d'obtenir un gain d'énergie plus important par rapport au maximum enregistré pour l'absorbeur plat. Cette amélioration est due à deux facteurs : premièrement, la présence d'une surface ondulée qui augmente la surface d'échange ; deuxièmement, la turbulence générée lors du passage de l'air. Les gains d'énergie enregistrés sont respectivement de 25,06 % et 41,2 % pour l'absorbeur plat et l'absorbeur ondulé.

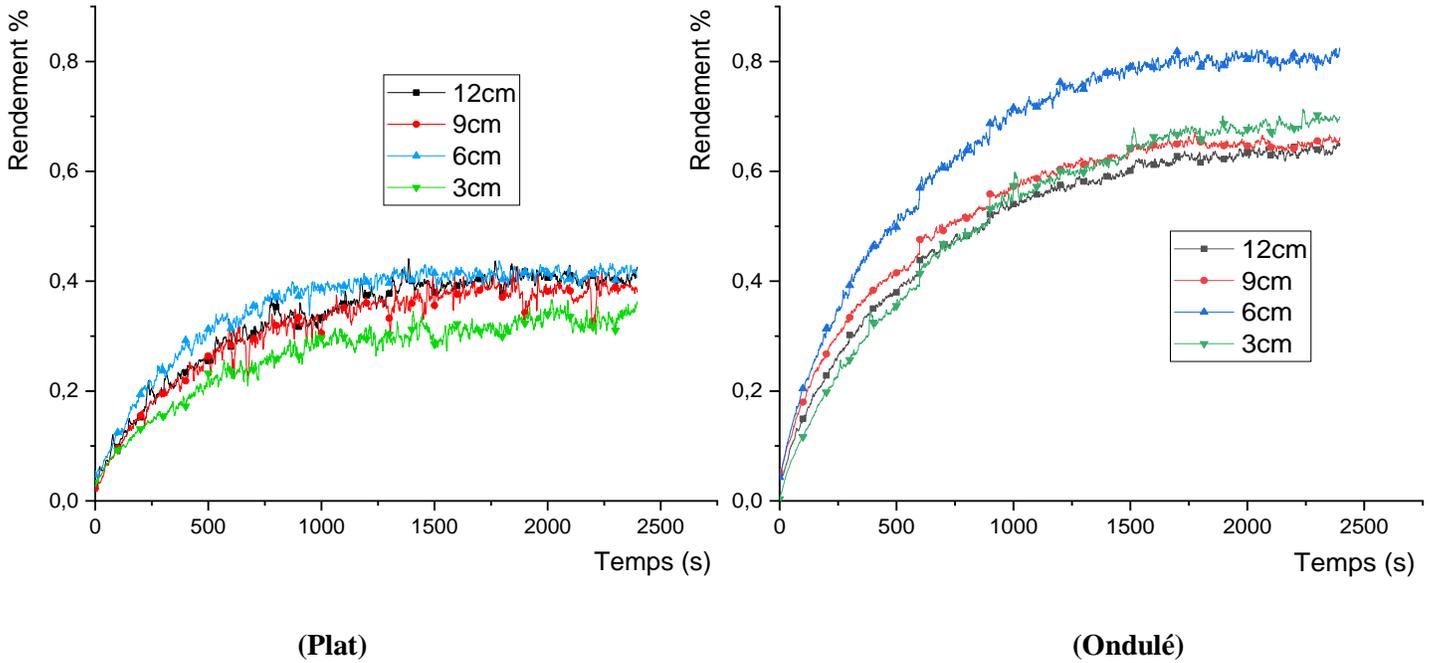


Fig. V.10. Evolution temporelle du rendement pour l'absorbeur plat et ondulé selon les écarts 12, 9, 6 et 3 cm du vitrage

La Fig. IV.10 représente l'évolution temporelle du rendement pour l'absorbeur plat et l'absorbeur ondulé du capteur solaire à air, selon les écarts de 12, 9, 6 et 3 cm entre l'absorbeur et le vitrage. On peut observer que le rendement varie dans le temps pour chaque écart pour atteindre selon l'écart de 6 cm, un maximum de 44% et 81% respectivement pour l'absorbeur plat et ondulé. On remarque également pour l'absorbeur ondulé que l'écart de 6 cm dépasse les autres écarts de 12, 9 et 3 cm d'une différence de plus de 10%.

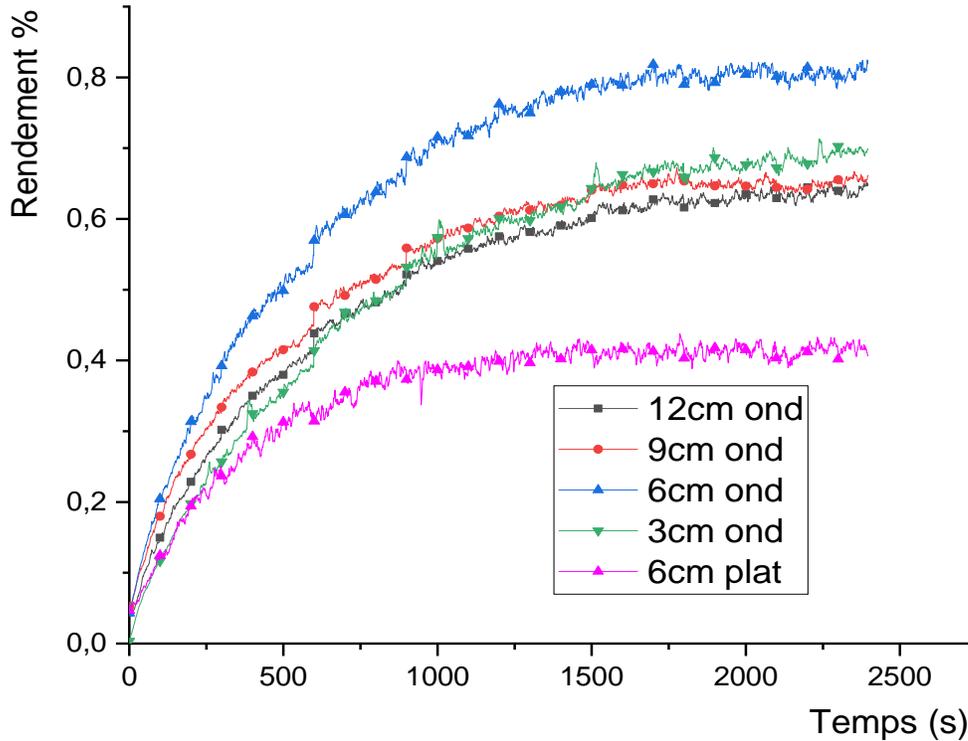


Fig. V.11. Evolution temporelle du rendement pour l'absorbant ondulé selon les écarts 12, 9, 6 et 3cm du vitrage et pour 6cm d'écart utilisé pour l'absorbant plat

La Fig. IV.11 présente une comparaison de l'évolution temporelle des rendements entre l'absorbant ondulé pour les écarts de 12, 9, 6 et 3 cm par rapport au vitrage, et l'absorbant plat pour un écart de 6 cm. On constate que l'absorbant ondulé affiche un rendement supérieur à celui de l'absorbant plat pour toutes les variations d'écart testées.

Cette amélioration peut s'expliquer par une meilleure distribution du flux d'air et une surface d'absorption plus étendue. En revanche, le rendement de l'absorbant plat pour l'écart optimal de 6 cm reste inférieur à celui de l'absorbant ondulé.

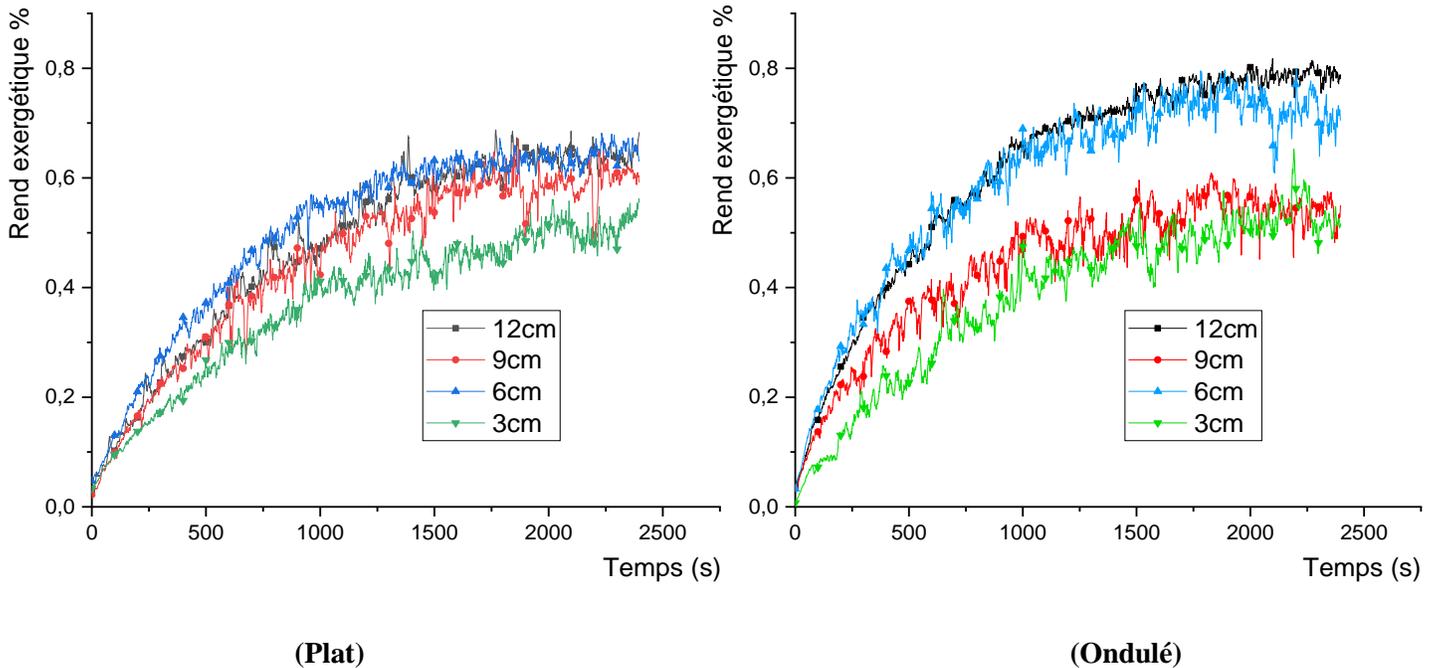


Fig. V.12. Evolution temporelle du rendement exergetique pour l'absorbeur plat et ondulé selon les écarts 12, 9, 6 et 3 cm du vitrage

La Fig. IV.12 représente l'évolution temporelle du rendement exergetique pour l'absorbeur plat et l'absorbeur ondulé, en tenant compte des écarts de 12, 9, 6 et 3 cm entre l'absorbeur et le vitrage. L'exergie représente la quantité d'énergie thermodynamique réellement utilisable. On observe une augmentation rapide du rendement exergetique pour tous les écarts de l'absorbeur plat, atteignant respectivement 67 %, 65 %, 63 % et 55 % à la fin de la période, pour les écarts de 6 cm, 12 cm, 9 cm et 3 cm. De même, pour l'absorbeur ondulé, le rendement exergetique atteint respectivement 82 %, 73 %, 55 % et 50 % pour les écarts de 12 cm, 6 cm, 9 cm et 3 cm.

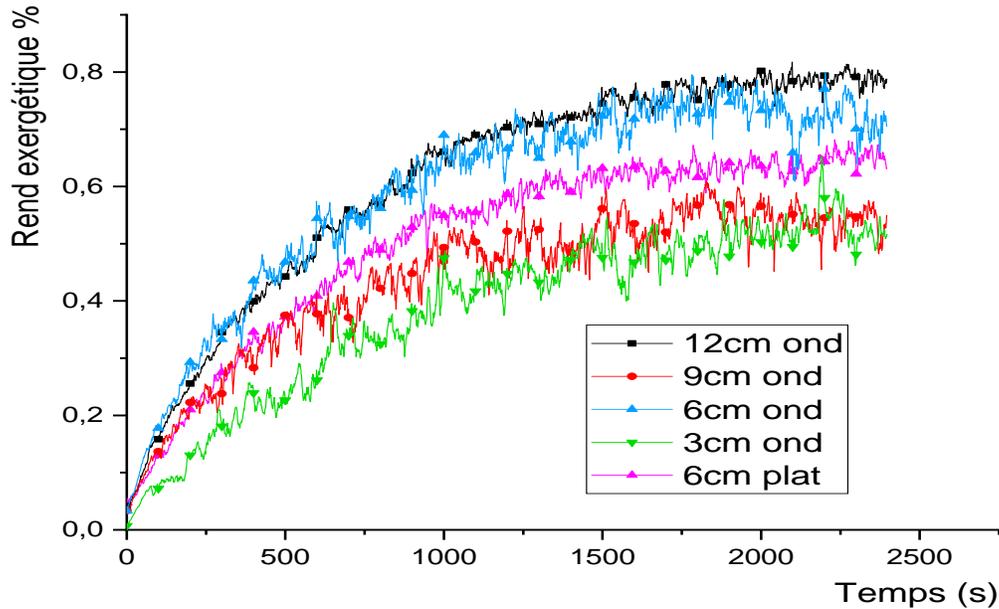


Fig. V.13. Evolution temporelle du rendement exergetique pour l'absorbeur ondulé selon les écarts 12, 9, 6 et 3cm du vitrage et pour 6cm d'écart utilisé pour l'absorbeur plat

La Fig. IV.13 représente l'évolution temporelle du rendement exergetique de l'absorbeur ondulé en fonction des écarts de 12, 9, 6 et 3 cm par rapport au vitrage, ainsi que pour l'absorbeur plat avec un écart de 6 cm. On peut observer que l'absorbeur ondulé atteint un rendement exergetique maximal de 82% pour l'écart de 12 cm et présente moins de fluctuation par rapport aux autres écarts. Les autres positions affichent des rendements exergetiques légèrement inférieurs. Le meilleur écart de 6 cm de l'absorbeur plat par rapport au vitrage est égal 67 %. Ainsi, on peut conclure que l'absorbeur ondulé est plus efficace que l'absorbeur plat pour le stockage de l'énergie solaire en termes d'exergie. Cette supériorité peut être attribuée à une meilleure absorption et conversion de l'énergie solaire par l'absorbeur ondulé.

IV.2 Conclusion

Le travail présenté consistait en l'analyse de la performance d'un capteur solaire à air utilisant des absorbeurs plats et ondulés, en fonction des écarts par rapport au vitrage.

Les différentes figures ont clairement démontré que les performances du capteur solaire à air sont influencées par l'écart de l'absorbeur. Dans l'ensemble, les absorbeurs ondulés ont affiché une meilleure performance que les absorbeurs plats, avec des rendements supérieurs et une plus grande capacité de stockage d'énergie.

L'écart optimal pour l'absorbeur plat a été identifié à une distance de 6 cm par rapport au vitrage, tandis que les écarts optimaux pour l'absorbeur ondulé étaient de 6 cm et 12 cm respectivement.

Les figures ont également mis en évidence la variation de l'énergie et du rendement du capteur solaire à air au fil du temps, en fonction des conditions environnementales telles que la température et le rayonnement solaire.

De plus, le rendement exergetique a été évalué pour chaque écart de l'absorbeur, révélant une nette amélioration des performances de l'absorbeur ondulé par rapport à l'absorbeur plat.

En conclusion, ces résultats suggèrent que les absorbeurs ondulés devraient être privilégiés par rapport aux absorbeurs plats, et que le choix de l'écart optimal dépendra de plusieurs facteurs, tels que les conditions environnementales et la conception globale du capteur solaire à air.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail porte sur l'étude expérimentale sur les capteurs solaires à air, nous avons présenté en détail notre capteur solaire à air. En prenant conscience de l'importance des matériaux utilisés tels que le vitrage pour l'effet de serre, la peinture noire pour le corps noir et le bois pour l'isolation thermique. On a analysé la performance d'un capteur utilisant des absorbeurs plat et ondulé, en fonction des écarts par rapport au vitrage (12, 9, 6 et 3cm). Les résultats obtenus ont fourni des informations précieuses sur l'influence de ces paramètres sur les performances du capteur solaire à air.

Les expériences réalisées permettent déduire les conclusions suivantes :

- L'écart de 6 cm entre le vitrage et l'absorbeur a généré une différence de température maximale de 25 °C pour l'absorbeur plat et de 29 °C pour l'absorbeur ondulé à la fin de l'expérience.
- Dès le début de l'expérience, l'absorbeur ondulé a affiché une différence de température environ 5 °C plus élevée que l'absorbeur plat à partir de 500 s.
- L'objectif de cette étude est d'analyser la meilleure captation d'énergie et d'exergie, ainsi que le meilleur rendement en déplaçant l'absorbeur de 3, 6, 9 et 12 cm par rapport au vitrage.
- La variation de l'écart entre l'absorbeur et le vitrage de 3, 6, 9 et 12 cm sur la partie supérieure a entraîné une variation correspondante au niveau de la partie inférieure de 15, 12, 9 et 6 cm respectivement, permettant une analyse comparative cohérente des différents écarts étudiés.
- Les résultats ont souligné l'importance de la conception de l'absorbeur dans l'efficacité globale du panneau solaire. L'absorbeur ondulé a présenté des différences de température supérieures, ce qui a pu contribuer à une meilleure performance du panneau solaire. Cependant, d'autres variables et conditions expérimentales ont été prises en compte pour une compréhension complète de cette relation complexe.

- Les gains d'énergie enregistrés sont de 25,06 % pour l'absorbeur plat et de 41,2 % pour l'absorbeur ondulé.
- Pour l'absorbeur ondulé, l'écart de 6 cm dépasse les autres écarts de 12, 9 et 3 cm d'une différence de plus de 10 %.
- Le rendement exergetique atteint respectivement 82 %, 73 %, 55 % et 50 % pour les écarts de 12 cm, 6 cm, 9 cm et 3 cm de l'absorbeur ondulé.
- En conclusion, l'absorbeur ondulé est plus efficace que l'absorbeur plat pour le stockage de l'énergie solaire en termes d'exergie, grâce à une meilleure absorption et conversion de l'énergie solaire.

Enfin, le développement continu de capteurs solaires plus efficaces et l'exploration de nouvelles technologies sont essentiels pour exploiter pleinement le potentiel de l'énergie solaire et accélérer la transition vers un avenir énergétique durable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Y. jannot, « Transferts& metrologie thermiques energie solaire & sechage », mars 2011.
- [2] researchGate, septembre 2018. www.researchgate.net/figure/Illustration-de-la-structure-du-Soleil_fig1_330823454. (consulté le 7 avril 2023).
- [3] S. Souidi et A. Dahmani, « Modélisation des capteurs solaires plans à air munis des ailettes et des chicanes », Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2015.
- [4] ResearchGate. <https://www.researchgate.net/figure/Spectre-solaire->
- [5] J. Bonnefond, « Les Capteurs de mesures du rayonnement naturel », 2008.
- [6] M. Bressan, « Estimation de production des installations PV », 2014.
- [7] A. Boussag, « Etude experimentale de l'effet de l'isolant sur le fonctionnement du capteur solaire », Université Mohamed Boudiaf, M'sila, 2017.
- [8] A. Abdelaoui, « Etude de conception et réalisation d'un capteur solaire:Application au séchage », Tamanghassat, 2021.
- [9] physique&réussite, 28 février 2016. <http://physiquereussite.fr/>
- [10] M. SANDALI, « Etude dynamique et thermique d'un capteur solaire à air à double passe avec milieu poreux », PhD Thesis, 2014.
- [11] madininair. <https://www.madininair.fr/L-effet-de-serre-qu-est-ce-que-c>
- [12] O. Sotehi, « Etude des caractéristiques de fonctionnements et de la performance d'un distillateur solaire ». Mémoire de Magistère en Physique. Université Mentouri, Constantine (Algérie), 2009.
- [13] solairethermique.guide. : http://www.solairethermique.guidenr.fr/I_differe-nt-type-capteur-solaire-thermique.php
- [14] ResearchGate. <https://www.researchgate.net/figure/Description-dun-capteur-solaire-non-vitre>
- [15] K. Benamrane, « Utilisation des capteurs solaires sous vide pour le fonctionnement du système de climatisation (Région de Ouargla) », PhD Thesis, UNIVERSITE DE OUARGLA, 2004.
- [16] soltopenergie.
- [17] Le panneau solaire. www.lepanneausolaire.net/les-differents-types-capteurs.php. (consulté le 6 avril 2023).
- [18] « GUIDEnR SOLAIRE THERMIQUE », *GUIDEnR SOLAIRE THERMIQUE*, 7 avril 2023. [://www.solairethermique.guidenr.fr/I_capteur-solaire-thermique-plan.php](http://www.solairethermique.guidenr.fr/I_capteur-solaire-thermique-plan.php)
- [19] J. Spitz, A. Aubert, J. M. Behaghel, S. Berthier, J. Lafait, et J. Rivory, « Matériaux sélectifs pour la conversion photothermique de l'énergie solaire », Revue de physique appliquée, vol. 14, n° 1, p. 67-80, 1979.

- [20] H. Essalhi, « Etude, conception et réalisation d'un séchoire solaire à séchage indirect », Université Mohammed V, Rabat, 2019.
- [21] solarpedia. http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Capteur_solaire_plan. (consulté le 15 avril 2023).
- [22] C. Schittich, Construire en verre. PPUR presses polytechniques, 2001.
- [23] S. KHALDI, « GENERALITES SUR LES TRANSFERTS DE CHALEUR », Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2019.
- [24] UCAR EARTH SYSTEM, 2018. <https://scied.ucar.edu/learning-zone/earth-system/conduction#:~:text=Conduction%20is%20the%20process%20by,between%20neighboring%20atoms%20or%20molecules.&text=These%20vibrating%20molecules%20collide%20with,the%20rest%20of%20the%20pan> (consulté le 6 avril 2023).
- [25] SCIENCE NEWS EXPLORES Explainer : *How heat moves*, 5 septembre 2016. <https://www.snexplores.org/article/explainer-how-heat-moves>
- [26] N. A. Korti, Transfert de chaleur. Tlemcen, 2012.
- [27] F. Bagui et H. Chafouk, « Etude transitoire du système solaire thermique », Revue des Energies Renouvelables *CER*, vol. 7, p. 99-102.
- [28] D. Semmar, S. Betrouni, et D. Lafri, « Etude et Réalisation d'un Capteur Solaire à Air' », Revue des Energies Renouvelables: Physique Energétique, p. 33-38, 1998.
- [29] A. Ahmed-Zaid, A. Moulla, M. S. Hantala, et J. Y. Desmons, « Amélioration des performances des capteurs solaires plans à air: application au séchage de l'oignon jaune et du hareng », Rev. Energ. Ren, vol. 4, p. 69-78, 2001.
- [30] M. T. Baissi, « étude numérique et expérimentale du transfert thermique à l'intérieur des canaux utilisant des rugosités artificielles: application aux capteurs solaires plans à air », PhD Thesis, Université Mohamed Khider-Biskra, 2019.
- [31] B. Touati et al, « ETUDE THEORIQUE ET EXPERIMENTALE D'UN CAPTEUR SOLAIRE A AIR. », 2019.
- [32] A. Labed, N. Moumami, A. Benchabane, et M. Zellouf, « Etude expérimentale de l'efficacité d'une nouvelle forme de rugosité artificielle sur les performances d'un capteur solaire plan à air-application au séchage du Henné », Premier Séminaire Nationale de Génie Mécanique, 7e8 December, Biskra, Algeria, 2011.
- [33] N. E. I. Oubiri, « Étude expérimentale d'un capteur solaire plan à air avec chicane de forme rectangulaire ».
- [34] F. Chabane, « Modélisation des paramètres de la conversion thermique de l'énergie solaire », PhD Thesis, Université Mohamed Khider-Biskra, 2015.
- [35] S. Bahria et M. Amirat, « Influence de l'adjonction des chicanes longitudinales sur les performances d'un capteur solaire plan à air », Journal of Renewable Energies, vol. 16, n° 1, p. 51-63, 2013.
- [36] Y. BEKKARI, « ETUDE DES PERFORMANCES THERMIQUES D'UN CAPTEUR SOLAIRE CURVILIGNE A AIR ».
- [37] R. Khama, F. Aissani, et R. Alkama, « Étude d'un capteur plan à air destiné à un séchoir solaire: Comparaison du mode passif au mode actif », Le 4ème Séminaire

International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables. Ghardaïa–Algeria, p. 24-25, 2016.

- [38] يحيى, غميمة, سليم, سليمان, علي, et اللبي, « L'amélioration du rendement thermique des capteurs solaires plans à air dans la région du sud Algérien », 2022.
- [39] M. HENAOUI, K. AIANE, et Z. Sari-Hassoun, « INFLUENCE DE LA VITESSE DE L'AIR SUR LE COMPORTEMENT HYDRODYNAMIQUE ET THERMIQUE D'UN CAPTEUR SOLAIRE PLAN A AIR »,
- [40] A. N. N. Chedop, N. Djongyang, et A. ZAATRI, « MODELISATION ET ETUDE COMPARATIVE DES CAPTEURS SOLAIRES PLANS ET A TUBES DANS LES REGIONS SOUDANO-SAHELIENNES DU CAMEROUN. », Sciences & Technology. A, exactes sciences, p. 37-44, 2018.
- [41] K. Sopian, W. R. W. Daud, M. Y. Othman, et B. Yatim, « Thermal performance of the double-pass solar collector with and without porous media », Renewable energy, vol. 18, no 4, p. 557-564, 1999.
- [42] N. Bendimerad et A. Berrabah, « Optimisation expérimentale d'une unité de stockage thermique par chaleur latente. », Thesis, 2019. Consulté le: 1 juin 2023. [En ligne]. Disponible sur: <http://dspace.univ-tlemcen.dz//handle/112/15005>
- [43] J. A. Duffie et W. A. Beckman, Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons, 2013.
- [44] H. Esen, « Experimental energy and exergy analysis of a double-flow solar air heater having different obstacles on absorber plates », Building and Environment, vol. 43, no 6, p. 1046-1054, 2008.
- [45] Z. alabdeen H. Obaid, A. Al-damook, et W. H. Khalil, « The thermal and economic characteristics of solar air collectors with different delta turbulators arrangement », Heat Transfer—Asian Research, vol. 48, no 6, p. 2082-2104, 2019.
- [46] K. S. Ong, « Thermal performance of solar air heaters—Experimental correlation », Solar Energy, vol. 55, no 3, p. 209-220, 1995.
- [47] W. H. Khalil, Z. A. H. Obaid, et H. K. Dawood, « Exergy analysis of single-flow solar air collectors with different configurations of absorber plates », Heat Transfer—Asian Research, vol. 48, no 8, p. 3600-3616, 2019.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تصميم مستشعر شمسي للهواء يعمل بوجود ممتصين مختلفين: ممتص مسطح وممتص متموج، تحت إشعاع ثابت ينبع من مصدر حراري اصطناعي يتم تصنيعه أيضًا في المختبر. تتمحور الدراسة حول مقارنة الأداء الطاقوي والإكزرجي للمستشعر. تم إجراء الاختبارات تحت إشعاع وتدفق هواء ثابتين، مع تعديل البعد بين الممتص والزجاج.

أظهرت النتائج تفوق الممتص المتموج على الممتص المسطح من حيث الكفاءة الحرارية. ومع ذلك، يؤدي البعد بمسافة 6 سم بين الممتص والزجاج إلى كفاءة حرارية قصوى تبلغ 81% و44% على التوالي للممتص المتموج والمسطح. فيما يتعلق بالكفاءة الإكزرجية وبنفس الفجوة، فقد تفوق الممتص المتموج بشكل واضح على الممتص المسطح، بقيم تبلغ على التوالي 82% و67%.

باختصار، يعزز الشكل المتموج للممتص من جهة، زيادة سطح التبادل، مما ينعكس على أداء أفضل فيما يتعلق بامتصاص الطاقة الشمسية، ومن ناحية أخرى، يتسبب في تولد توربولانسي للهواء مما يحسن الأداء الإكزرجي للمستشعر الشمسي.

ساهمت النتائج في تحديد نوع الممتص الأكثر أداءً وتحسين تصميم الألواح الشمسية للهواء.

الكلمات المفتاحية: مستشعر شمسي ذو مرور مزدوج، لوحة ممتصة، كفاءة حرارية، طاقة، إكزرجي، إشعاع شمسي

Abstract

The objective of this work is to create an air-based solar sensor that operates with two distinct absorbers: a flat absorber and a corrugated absorber, under constant radiation from an artificial thermal source also fabricated in the laboratory. The study focuses on comparing the energy and exergy performances of the sensor. The tests were conducted under fixed radiation and air flow rates while varying the gap between the absorber and the glazing.

The results have demonstrated the superiority of the corrugated absorber over the flat absorber in terms of thermal efficiency. However, the 6 cm gap between the absorber and the glazing results in a maximum thermal efficiency of 81% and 44% for the corrugated and flat absorbers, respectively. In terms of exergy efficiency and for the same gap, the corrugated absorber significantly outperforms the flat absorber, with respective values of 82% and 67%.

In summary, the corrugated shape of the absorber promotes, on one hand, an increase in the surface area for heat exchange, leading to better performance in terms of solar energy absorption. On the other hand, it induces air turbulence, which enhances the exergy performance of the solar sensor.

The results have allowed for the determination of the most efficient absorber type and the optimization of air-based solar panel design.

Keywords: Double-pass solar sensor, absorber plate, thermal efficiency, energy, exergy, solar radiation.

Résumé

L'objectif de ce travail vise à réaliser un capteur solaire à air fonctionnant avec deux absorbeurs distincts : un absorbeur plat et un absorbeur ondulatoire, sous un rayonnement constant issu d'une source thermique artificielle fabriquée aussi au laboratoire. L'étude s'articule sur la comparaison des performances énergétiques et exergetiques du capteur. Les tests ont été réalisés sous un rayonnement et un débit d'air fixes, tout en en modifiant l'écart entre l'absorbeur et le vitrage.

Les résultats obtenus ont mis en évidence une supériorité de l'absorbeur ondulatoire par rapport à l'absorbeur plat en termes d'efficacité thermique. Toutefois, l'écart de 6 cm entre l'absorbeur et le vitrage entraîne une efficacité thermique maximale de 81 et 44 % respectivement pour l'absorbeur ondulé et plat. En terme d'efficacité exergetique et pour le même écart, l'absorbeur ondulatoire a nettement surpassé l'absorbeur plat, avec des valeurs respectives de 82 et 67%.

En résumé, la forme ondulatoire de l'absorbeur favorise d'une part, une augmentation de la surface d'échange, ce qui se traduit par une meilleure performance en termes de captation de l'énergie solaire et d'autre part, elle induit une turbulence de l'air qui améliore les performances exergetiques du capteur solaire.

Les résultats ont permis de déterminer le type d'absorbeur le plus performant et d'optimiser la conception des panneaux solaires à air.

Mots clés: capteur solaire double passe, plaque absorbante, rendement thermique, énergie, exergetie, rayonnement solaire.