



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département de Génie Mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétiques Mécanique

Réf. :

Présenté et soutenu par :

Mr. Abdelkader SMATTI

Le : mercredi 30 septembre 2020

Thème :

Contribution à l'étude d'un nouveau système de rafraîchissement et de ventilation par une tour du vent couplée avec un échangeur géothermique et une cheminée solaire : cas de la cheminée solaire

Jury :

Dr. Mohamed Nadir IMRAN	PR	Université de Biskra	Président
Dr. Faris AISSAOUI	MCB	Université de Ghardaïa	Rapporteur
Dr. Arfaoui BENARFAOUI	MCB	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2019 - 2020

Dédicace

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL À MES CHERS PARENTS

À MES FRÈRES ET MES SOEURS

À TOUTE LA FAMILLE

ET TOUS MES AMIS

Remerciements

Remerciements

*Avant tout, je dois remercier **ALLAH** le tout puissant qui m'a Donné la force pour réaliser ce travail.*

Le grand merci à mon encadreur Dr. Faris AISSAOUI Pour son aide durant la résolution de ce mémoire.

Je tiens également à remercier les membres du jury

Dr Arfaoui BENARFAOUI et Dr Mohamed Nadir IMRAN pour l'honneur Qu'ils m'ont accordé en acceptant de juger mon travail.

Je remercie aussi l'ensemble des enseignants du département de Génie Mécanique, qui ont contribué à ma formation.

Liste des tableaux

Chapitre II : Généralités sur les capteurs solaires

Tableau II.1 Plage de température pour un capteur solaire plan18

Tableau II.2 : thermo-physiques de quelques matériaux métalliques47

chapitre IV : Résultats et discussions

Tableau IV.1 Resultats de Gan48

Liste des figures

Liste des figures

Introduction générale

Fig 1 : Schéma du système de climatisation, de chauffage et de ventilation de bâtiment2

Chapitre I : Etude Bibliographique

Fig 1 : Le schéma d'un capteur solaire thermique à double passe avec des milieux poreux dans le deuxième canal	3
Fig 2 : Coupe transversale du capteur à air	4
Fig 3 : Disposition des obstacles DCL	5
Fig 4 : Disposition des obstacles OCL.....	5
Fig 5 :Capteur muni d'obstacles TL.....	5
Fig 6 : Capteur avec des chicane rectangulaire sur la plaque inférieure en bois	6
Fig 7 : Plaques rectangulaires minces orientées parallèlement à l'écoulement et soudées à la face inférieure de l'absorbeur.....	7
Fig 8 : Les figures des six Modèles différents de capteurs solaires à air.....	8
Fig 9 : Comparaison des rendements thermiques des modèles de capteurs étudiés.....	8
Fig 10 : Comparaison des températures de moyennes de sorties de l'air des Modèles de capteurs étudiés.....	8
Fig 11 : Capteur plan à air muni de rugosités cylindriques.....	9
Fig 12 : Différentes dispositions des rugosités cylindriques	10
Fig 13 : Dispositif expérimental.....	10
Fig 14 : Schéma descriptif des chicanes.....	11
Fig 15 : Sections et photo du dispositif expérimental.....	12
Fig 16 :Variation du rendement du capteur solaire en fonction du solaire et du temps.....	13

Liste des figures

Fig 17 : Variation du rendement du capteur solaire en fonction du Rayonnement solaire.....	13
Fig 18: Evolution de la température de Plexiglas en fonction du temps de la journée pour différent angles d'inclinaison.....	14
Fig 19 : Evolution de la température de sortie en journée pour différent angles d'inclinaison.....	14

Chapitre II : Généralité sur les capteurs solaires

Fig 1: Composants d'un capteur solaire	17
Fig 2: type de verre pour les couvertures	19
Fig 3: Vu d'un capteur solaire non vitré	22
Fig 4: Description d'un capteur solaire non vitré.....	23
Fig 5: Capteur plan vitré	23
Fig 6 : Capteur sous vide	24
Fig 7: Capteur à tube sous vide	24
Fig 8 : Les différents échanges thermiques dans un capteur solaire	27
Fig 9 : Chauffages et climatisation des habitations	30
Fig 10 : Séchage solaire	31

Chapitre III : Modélisation et simulation numérique

Fig 1 : Schéma électrique équivalent relatif à une section de l'insolateur.....	34
Fig 2 : Capture sans vitre.....	35
Fig 3 : capteur avec vitre	35

Liste des figures

Chapitre IV : Résultats et discussions

Fig 1 : Variation de température de sortie de fluide le long du capteur solaire.....	44
Fig 2. Variation de température de sortie de fluide le long du capteur solaire	45
Fig 3 : Variation des températures numériques et expérimentales le long du collecteur solaire, avec $Re = 38381,6$, $I_g = 900W / m^2$	46
Fig 4 : du gisement solaire en fonction de temps après les travaux réalisés par Chabane et al.....	47
Fig 5 : Evolution de la température de l'air de sortie en fonction du temps pour un débit de $0.012Kg/s$	47
Fig 6 : Variation de la température de sortie du fluide en fonction du nombre de Nusselt pour des différentes longueurs de l'insolateur.....	48
Fig 7 : Variation de la température de sortie du fluide en fonction du nombre de Nusselt pour des différentes hauteurs du canal de l'insolateur.	48
Fig 8 : Variation de la température de sortie en fonction de la hauteur du canal.....	49
Fig 9 : Evolution de l'énergie utile en fonction du débit massique.	50

Sommaire

SOMMAIRE

Dédicace	I
Remerciements	II
Liste des tableaux	III
Liste des figures.....	IV
Résumé.....	XI
ملخص.....	XII
Abstract.....	XIII
Introduction Générale	1

Chapitre I : Etude Bibliographique

I.1. Introduction.....	3
I.2. Recherches réalisées sur les capteurs solaires	3
I.3.CONCLUSION.....	16

Chapitre II : Généralité sur les capteurs solaires

II.1. Introduction.....	17
II.2. Historique des captures solaires.....	17
II.3. Conversion thermique de l'énergie solaire.....	17
II.4. Principe de fonctionnement.....	18
II.5. Éléments constitutants du capteur solaire.....	19
II.5.1. Absorbeur.....	19
II.4.2. Couverture transparent.....	20
II.4.3. L'isolant	21
II.4.4. Fluide Caloporteur.....	22
II.4.5. Le coffre	23

Sommaire

II.6. Types de capteurs Solaires.....	23
II.6.1. Capteurs plans non vitrés.....	23
II.6.2. Capteurs plans vitrés.....	24
II.6.3. Les capteurs sous vide.....	26
II.7. Les paramètres influant sur le fonctionnement d'un capteur solaire.....	26
II.7.1. La vitre.....	26
II.7.2 L'absorbeur.....	26
II.7.3 Forme et diamètres des pipes.....	26
II.7.4. L'isolation.....	26
II.7.5. L'orientation et l'inclinaison du capteur.....	27
II.7.6. Paramètres externs.....	27
II.7.6.1. Obstacles.....	27
II.7.6.2. Rayonnement solaire.....	27
II.7.6.3. Température.....	27
II.7.6.4. Vitesse du vent.....	27
II.8. Pertes thermiques dans un capteur solaire.....	27
II.8.1 Pertes par convection.....	27
II.8.2 Pertes par conduction.....	28
II.8.3 Pertes par rayonnement.....	28
II .9. Les différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire ...	28
II.9.1 La conduction.....	29
II.9.2 La convection.....	29
II.9.3. Le rayonnement.....	30
II.10. Classification des capteurs.....	30
II.10.1. Le fluide de travail utilise.....	30
II.10.2. L'orientation des capteurs.....	30

Sommaire

II.10.3. Des capteurs fixes.....	30
II.10.4. Des capteurs à poursuite.....	31
II.11. Applications des capteurs solaires plans à air.....	31
II.11.1. Chauffages et climatisation des habitations	31
II.11.2. Séchage	31
II.11.3. Production de l'énergie mécanique.....	31
II.12. Conclusion.....	33

Chapitre III : Modélisation et simulation numérique

III.1. Introduction.....	34
III.2. Modélisation des échanges thermiques dans le Capteur Solaire Plan à air.....	34
III.4. méthode de modélisation.....	34
III.3. Les Bilans énergétiques au niveau dans chaque composant d'un capteur plan vitré et non vitré.....	36
III.3.1. capteur solaire à air sans vitre.....	36
III.3.2. Bilan énergétique au niveau du vitrage.....	36
III.3.3. Bilan énergétique à travers l'absorbeur.....	37
III.3.4. Bilan énergétique du fluide.....	37
III.3.5. Bilan énergétique de la plaque inférieure.....	37
III.4. Méthode de resolution.....	37
III.5. Modélisation des coefficients d'échange thermique	38
III.5.1. Transfert radiatif.....	39
III.5.1.1. Transfert radiatif entre la vitre et la voûte céleste.....	39
III.5.1.2. Transfert radiatif entre la vitre et l'absorbeur.....	40
III.5.1.3. Transfert radiatif entre l'absorbeur et la plaque inférieure placée sur l'isolant	40

Sommaire

III.5.2. Transfert convective.....	41
III.5.2.1. Transfert convectif dû au vent	41
III.5.2.2. Transferts convectifs dans le capteur.....	41
III.6. Les pertes thermiques.....	42
III.6.1. Pertes à l'arrière	42
III.6.2. Pertes à l'avant.....	42
III.7. Rendement thermique et l'énergie utile (récupérée par le fluide caloporteur).....	43
III.8. Puissance absorbée.....	43
III.9. Simulation	44
III.10. Conclusion	46

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction.....	47
IV.2. Validation des resultants dans un capteur solaire sans vitre.....	47
IV.3. Validation des resultants dans un capteur solaire avec vitre.....	49
IV. 4. Etude paramétrique	51
IV.5. Conclusion	53
CONCLUSION GENERALE.....	54

Contribution à l'étude d'un nouveau système de rafraîchissement et de ventilation par une tour du vent couplée avec un échangeur géothermique et une cheminée solaire : cas de la cheminée solaire

Résumé

Notre travail sur les énergies renouvelables vise à introduire et étudier un nouveau système de rafraîchissement et de ventilation naturelle des bâtiments par tour éolienne, ainsi que l'échange de chaleur géothermique et une cheminée solaire. Dans cette étude, Nous avons présenté une modélisation mathématique pour différents types de capteurs solaires plan à air simple. Les équations des bilans énergétiques ont été établies sur les différents composants des insolateurs (vitre, absorbeur, fluide caloporteur et la plaque inférieure). Les systèmes d'équations ont été résolu par la méthode des différences finies pour calculer les températures au niveau de chaque élément des capteurs (cheminée solaire).

Mots clés : modélisation mathématique , bilans énergétiques , différences finies , les températures.

المساهمة في دراسة نظام تبريد وتهوية جديد بواسطة برج الرياح مقرونًا بتبادل الحرارة الجوفية ومدفأة شمسية: حالة المدخنة الشمسية

ملخص

يهدف عملنا في مجال الطاقة المتجددة إلى إدخال ودراسة نظام جديد للتبريد والتهوية الطبيعية للمباني بواسطة برج الرياح، بالإضافة إلى تبادل الحرارة الحرارية الأرضية ومدفأة شمسية. في هذه الدراسة قمنا بنمذجة رياضية لعدة أنواع من اللواقط الشمسية الهوائية، بحيث طبقت معادلات التوازن الحراري على مختلف العناصر المكونة للاقط الشمسي الهوائي (الزجاج، اللوحة الماصة، الهواء واللوحة السفلية). حل المشكل المطروح يؤول إلى حل نظام من المعادلات التفاضلية بطريقة الفروق المنتهية لحساب درجة الحرارة على طول كل عنصر من العناصر المذكورة أنفا (حالة المدخنة الشمسية).

كلمات مفتاحية: نمذجة رياضية، التوازن الحراري، المعادلات التفاضلية، درجة الحرارة.

Contribution to the study of a new cooling and ventilation system by a wind tower coupled with a geothermal interchange and a solar fireplace: case of the solar chimney

Abstract

Our work on renewable energy aims to introduce and study a new system of cooling and natural ventilation of buildings by wind tower, as well as geothermal heat exchange and a solar fireplace. In this study, we presented mathematical modeling for different types of single-plane solar collectors .The equations of the energy balances were established on the different components of the insulators (glass, absorber, heat-carrying fluid and the lower plate). The equation systems were solved by the finite differences method to calculate temperatures at the level of each sensor element. (solar chimney) .

Keywords: mathematical modeling , the energy balances , the finite differences method , temperatures

Introduction générale

Au cours des dernières décennies, le monde a connu une tendance en faveur des énergies propres, car les énergies fossiles causent des dégâts considérables sur l'homme et l'environnement, notamment le trou dans la couche d'ozone, la menace du réchauffement climatique, etc. Il existe de nombreux types de sources d'énergie renouvelables propres pouvant être exploitées, telles que l'énergie solaire, l'énergie éolienne, la biomasse, la géothermie, etc. Les chercheurs se sont concentrés sur l'énergie solaire comme étant la plus facile à exploiter par rapport aux autres sources.

Dans ce cadre l'énergie solaire est une des sources d'énergie renouvelable les plus prometteuses. Les applications principales de l'énergie solaire peuvent être classées dans deux catégories :

- les modules photovoltaïques qui permettent de convertir le rayonnement solaire en électricité .
- les capteurs thermiques qui transforment le rayonnement solaire en chaleur.

Les systèmes de climatisation, de chauffage et de ventilation des bâtiments sont responsables d'environ la moitié de l'énergie consommée dans les bâtiments. L'intégration efficace d'éléments passifs dans le bâtiment peut considérablement réduire le coût de la climatisation dans les bâtiments tout en maintenant le confort thermique. Les systèmes passifs sont des éléments tels que des cheminées solaires, des échangeurs géothermiques air-sol, des tours à vent... qui peuvent être intégrés au bâtiment pour produire une ventilation, un chauffage ou un refroidissement sans nécessiter de système mécanique.

Ce sujet a pour objectif de présenter et d'étudier un nouveau système de rafraîchissement et de ventilation naturelle des bâtiments par une tour du vent couplée avec un échangeur géothermique et une cheminée solaire.

Dans ce mémoire, on s'intéresse à l'élément 4 qui présente la cheminée solaire (capteur solaire plan à air) (voir figure 01)

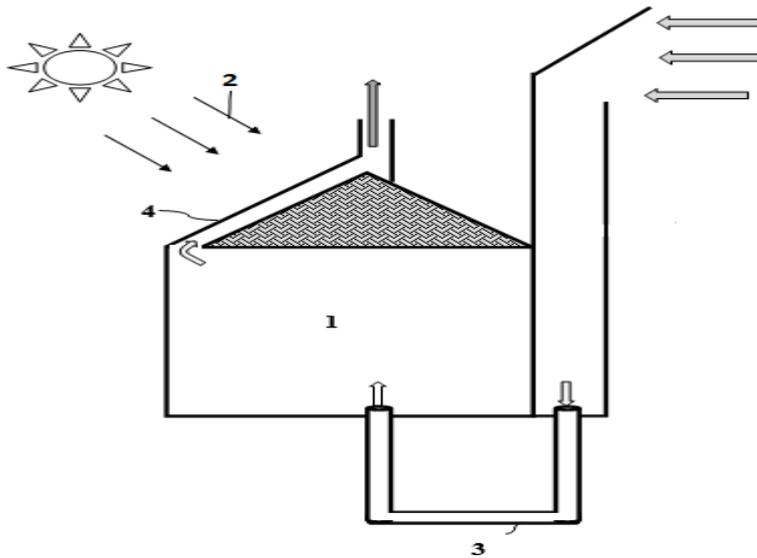


Fig. 01 : Cette figure représente un Schéma du système de climatisation, de chauffage et de ventilation de bâtiment

Ce travail est réparti en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, est consacré à présenter une synthèse bibliographique de quelques travaux sur les capteurs solaires plan

Le deuxième chapitre, nous donnons quelques informations générales sur les capteurs solaires, leurs principes de fonctionnement, les différents types et domaines d'utilisation.

Le troisième chapitre est consacré à présenter la modélisation des panneaux solaires simples sans et avec vitrage.

Le quatrième chapitre est axé sur les résultats de la simulation numérique basée sur les différences finies ont été représentés graphiquement. Puis, ils ont été analysés et discutés.

Enfin, on terminera ce manuscrit par une conclusion générale qui englobe l'ensemble des résultats les plus importantes obtenues dans ce projet.

CHAPITRE I

Etude Bibliographique

I.1. Introduction

La production de l'énergie thermique à partir de l'énergie solaire est aujourd'hui une des techniques les plus prometteuses pour répondre aux besoins énergétiques mondiaux. Actuellement il y a plusieurs millions de mètre carré des capteurs et de systèmes solaires installés dans le monde utilisant les technologies les plus récentes.

Plusieurs études sur les capteurs solaires ont été réalisées ces dernières années. L'objectif principal de ces travaux été d'améliorer l'efficacité thermique des capteurs solaires et de trouver des solutions technologiques adéquates aux différents problèmes qui peuvent faire face au bon fonctionnement des ces systèmes.

I.2. Recherches réalisées sur les capteurs solaires

Ho-Ming Yeh et Tong-Tshien Lin (1995) ont étudié théoriquement et expérimentalement l'influence du rayonnement solaire capturé sur l'efficacité de capteur solaire. Ils ont trouvé que le taux du rayonnement solaire et la surface de contact entre l'absorbeur et le fluide caloporteur accroît avec l'augmentation de la surface du capteur, mais aussi elle augmente le coefficient des pertes thermiques entre la couverture et l'extérieur [1].

Benkhelifa (1998) a présenté un modèle mathématique pour étudier l'influence de quelques paramètres sur le coefficient de perte thermique vers l'avant du capteur. Le model permet de calculer ces pertes thermiques. Il a trouvé que l'augmentation du coefficient de pertes thermiques dépend de l'augmentation de l'émissivité de l'absorbeur ainsi que sa température et le coefficient d'échange convectif avec l'air ambiant [2].

K. Sopian et al (1999) ont présenté une étude expérimentale du rendement thermique d'un capteur solaire à doubles passes sans et avec milieu poreux placé dans le deuxième canal.

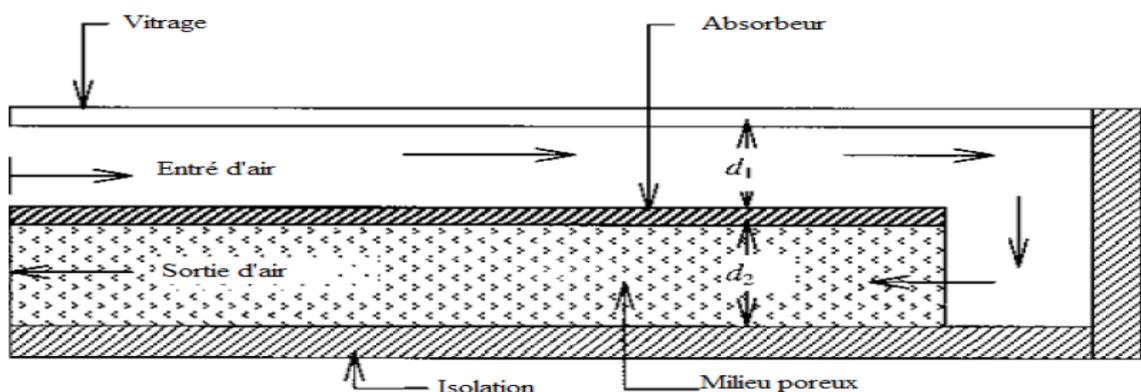


Fig. (I.1) : Le schéma d'un capteur solaire thermique à double passe avec des milieux poreux dans le deuxième canal [1].

Ils ont étudié l'effet du changement de la profondeur du canal supérieure et inférieure avec et sans milieu poreux sur le rendement thermique, ainsi que les effets du débit d'air, et de rayonnement solaire. Ils ont trouvé que, la présence du milieu poreux augmente la surface de transfert thermique d'où l'augmentation de la température de sortie, et que le capteur solaire à double passes a des performances thermiques plus élevées que celles à seule passe. Le rendement thermique d'un capteur solaire à double passes avec un milieu poreux est de l'environ de 60-70 %, c'est-à-dire 20-70 % plus haut que le capteur sans milieu poreux [1].

F. Moukhtari et D. Semmar (1999) ont fait une étude expérimentale d'un capteur solaire à air. Ils ont présenté les résultats des essais effectués sur le capteur solaire à air. En premier lieu, ils ont donné la méthode de réalisation du modèle expérimental en se référant aux modèles standards des capteurs à air, ensuite une campagne de mesures a été menée afin de juger les performances thermiques de ce système. Les paramètres mesurés ils permettent d'appuyer l'analyse théorique, ils valoriser son capteur solaire à air, et pour une éventuelle utilisation de son capteur dans le séchage des produits agro-alimentaires[1].

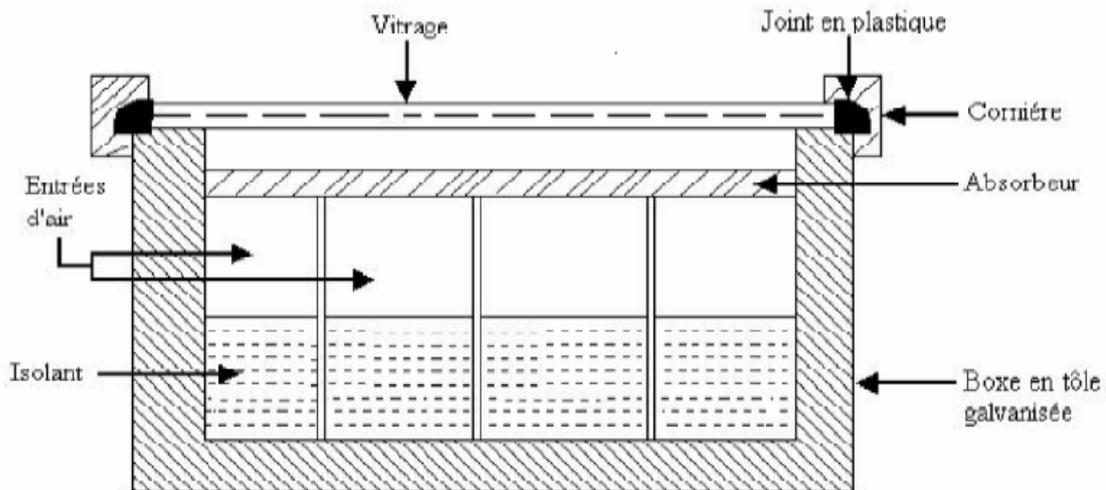


Figure (I.2) : Coupe transversale du capteur à air [1].

A partir des résultats trouvés, ils ont conclu que:

- La température de sortie du fluide varie en fonction du flux solaire.
- La conception a permis d'obtenir des températures du fluide assez élevées à la sortie, favorable pour les exploiter dans le séchage des produits agro-alimentaires.
- Ces résultats expérimentaux aideront à une éventuelle analyse théorique du système expérimental.

A. Ahmed-Zaïd et al (2001) présentent une comparaison entre les résultats obtenus dans les cas du capteur solaire muni d'obstacles et du capteur sans obstacles (SC). Les différentes formes étudiées, à la fois simples et intéressantes, concernent, comme le montrent Fig.(I.3), Fig.(I.4), et Fig.(I.5), les chicanes Delta Cintrées Longitudinalement (DCL), Ogivales Cintrées Longitudinalement (OCL) et Transversales-Longitudinales (TL) Après analyse des résultats, le capteur muni d'obstacles TL paraît le meilleur [3].



Fig. (I.3) : Disposition des obstacles DCL [3]

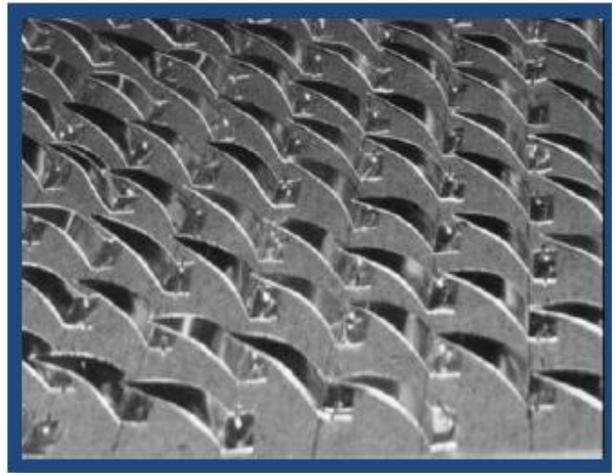


Fig. (I.4) : Disposition des obstacles OCL [3]

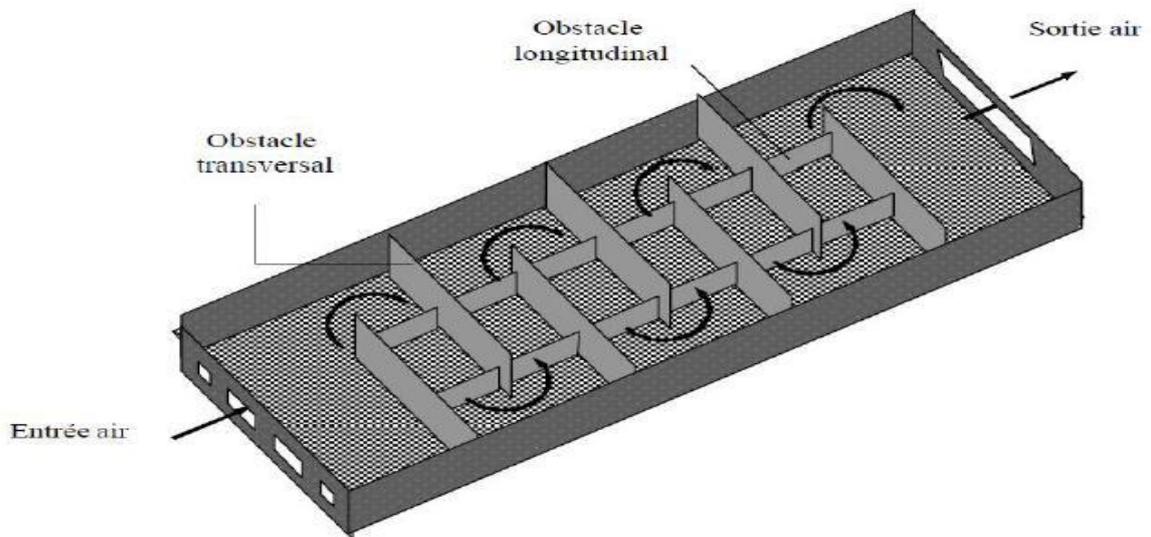


Fig.(I.5) : Capteur muni d'obstacles TL [3]

Moumni et al(2004) travers une étude expérimentale sur un banc d'essai comprenant un convertisseur solaire. Ils ont créé un écoulement turbulent entre l'absorbeur et la plaque arrière par l'utilisation des obstacles rectangulaires perpendiculaires à l'écoulement et qui permettent de réduire les zones mortes **Fig.(I.6)** [4] .

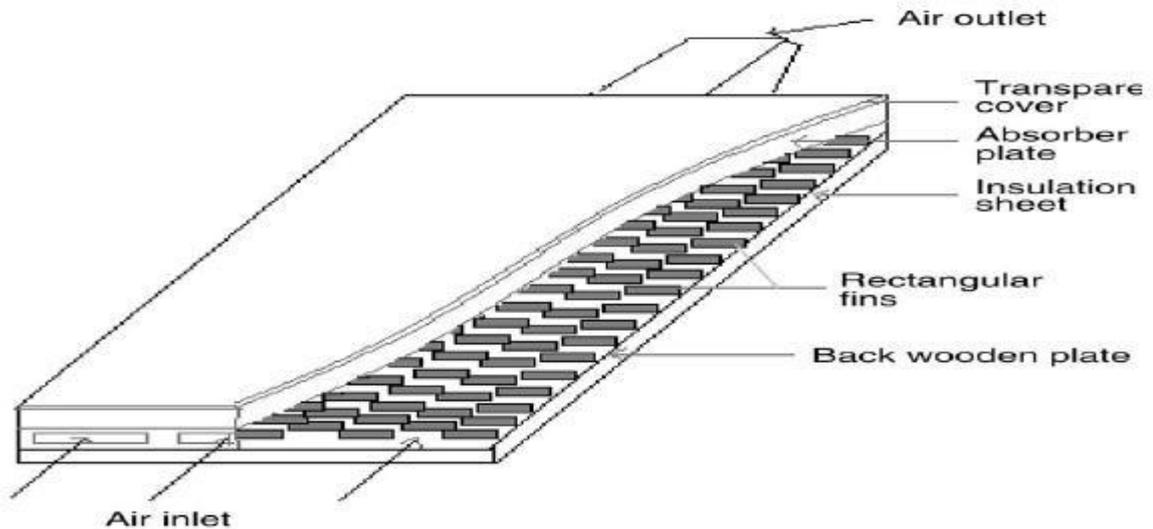


Fig.(I.6) : Capteur avec des chicanes rectangulaire sur la plaque inférieure en bois [4] .

Par comparaison de ce type de capteurs avec un autre sans obstacles, utilisant deux types d'absorbeurs, sélectif et non sélectif, l'auteur a trouvé que la sélectivité de l'absorbeur ne présente pas une amélioration remarquable en présence des plaques rectangulaires. Ils ont donné également une approche approximative du coefficient du transfert convectif dans le canal d'air tenant compte de la géométrie de l'absorbeur et de la nature de l'écoulement [4] .

S. Youcef-Ali (2005) a étudié expérimentalement un capteur solaire plan à air muni de rugosités dans le canal d'écoulement du fluide caloporteur. Ces obstacles dits chicanes sous forme de plaques rectangulaires minces orientées parallèlement à l'écoulement et soudées à la face inférieure de l'absorbeur [5] .

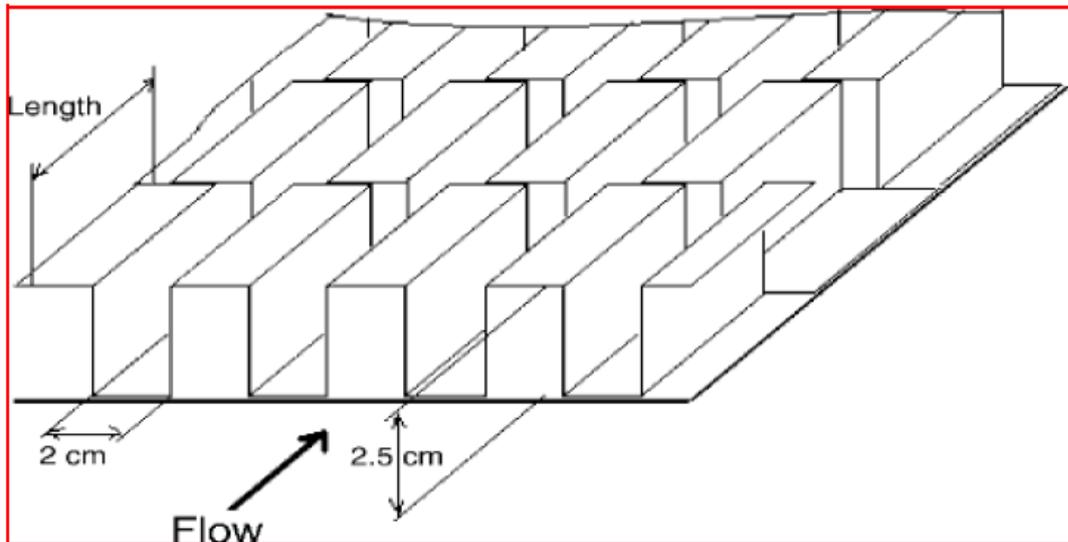


Fig.(I .7) : Plaques rectangulaires minces orientées parallèlement à l'écoulement et soudées à la face inférieure de l'absorbeur [5]

Parallèlement, il a comparé expérimentalement l'efficacité d'un capteur à doubles couvertures avec celui à triples couvertures. Il a montré que les plaques ajoutées augmentent le transfert thermique entre l'absorbeur et l'air ce qui réduit les pertes vers l'extérieur et par conséquent un rendement supérieur. D'autre part, il a montré que la couverture triple donne des performances plus importantes que celles doubles par minimisation des pertes vers l'extérieur [5] .

Turhan Koyuncu (2006) cet article étudié six Modèles différents de capteurs solaires à air avec convection naturel pour le séchage des produits agricoles :

Modèle -1 : à simple vitrage en plastique, l'absorbeur est en carton dur à peinture noire sans effet de serre.

Modèle -2 : à simple vitrage en plastique, l'absorbeur est en tôle d'aluminium peinte en noire sans effet de serre.

Modèle -3 : une seule vitre en plastique, l'absorbeur est en tôle aluminium en forme de zigzague, avec peinture noire, sans effet de serre,

Modèle -4 : à simple vitrage en plastique, l'absorbeur est en tôle d'aluminium peinte en noire avec effet de serre.

Modèle -5 : à simple vitrage en plastique, l'absorbeur en tôle aluminium en forme de zigzague à peinture noire avec effet de serre.

Modèle -6 : double vitre en plastique, l'absorbeur en tôle aluminium peinte en noire avec effet de serre. Il a montré que les capteurs à simple vitrage et sans effet de serre sont plus efficaces que ceux à double ou à triple vitrages Fig. (I-15 et 16), ces dispositifs de conversion thermique de l'énergie solaire, sont plus appropriés pour la circulation naturelle dans les applications du séchage par de l'énergie solaires [6].

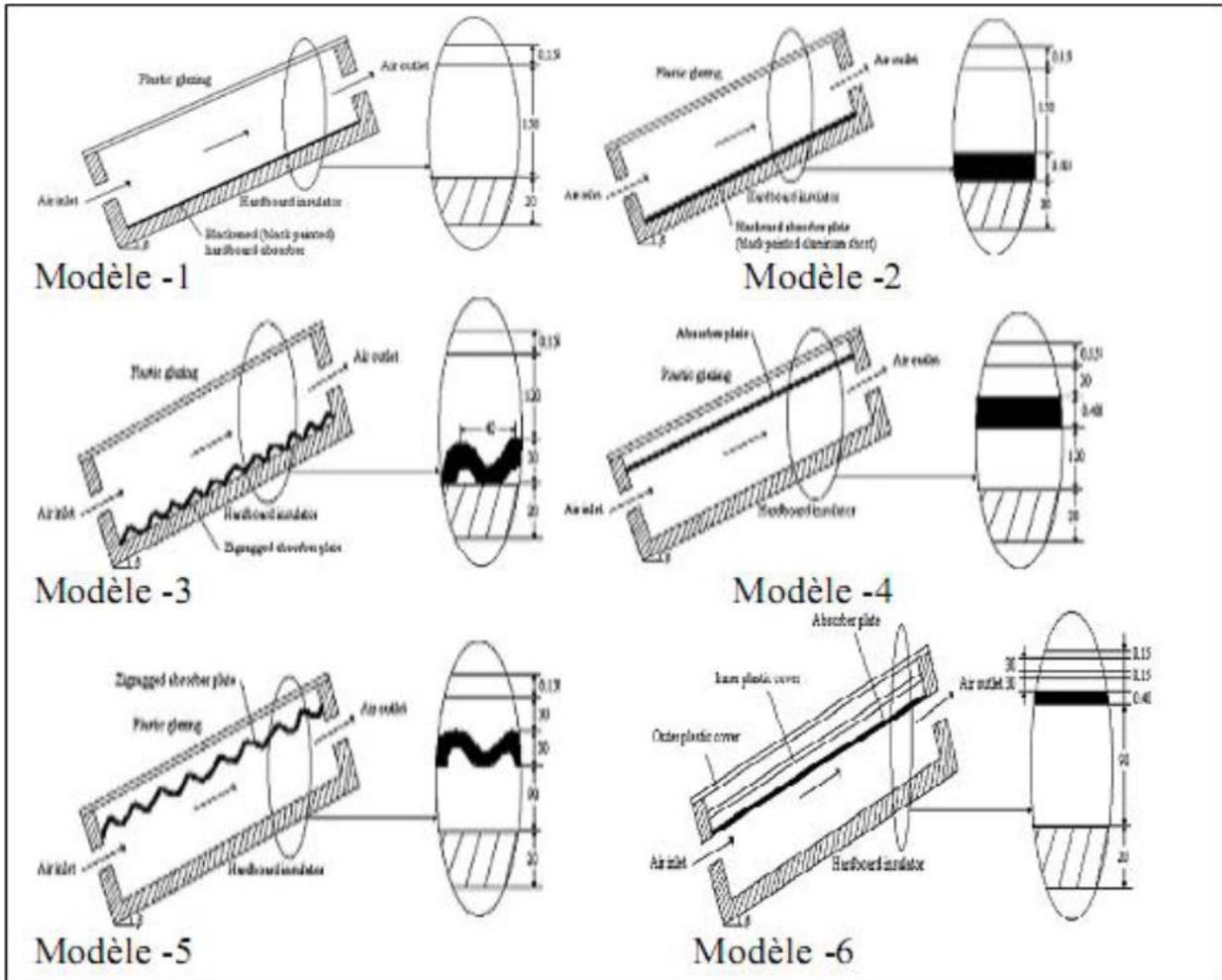


Fig.(I.8) : Les figures des six Modèles différents de capteurs solaires à air [6].

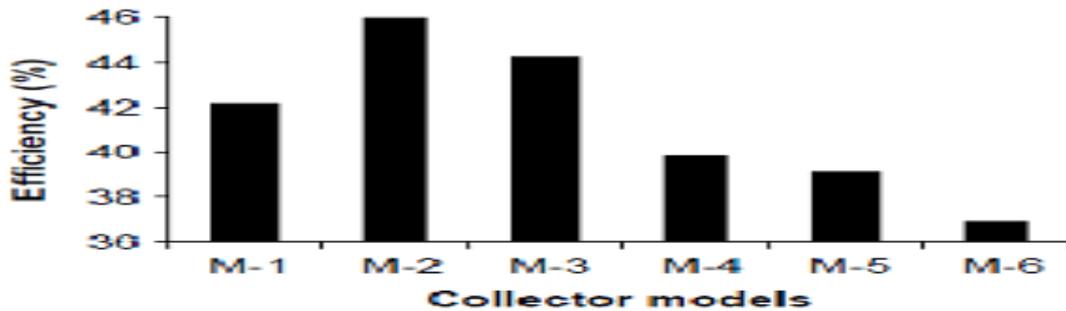


Fig.(I.9) : Comparaison des rendements thermiques des modèles de capteurs étudiés [6].

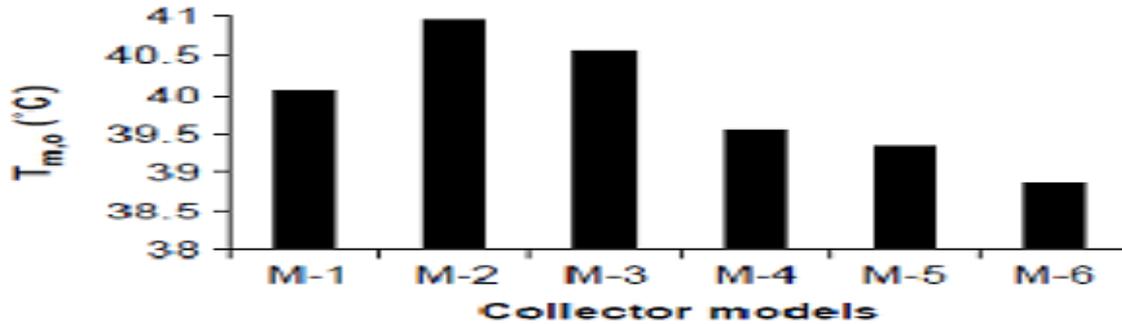


Fig.(I.10) : Comparaison des températures de moyennes de sorties de l'air des Modèles de capteurs étudiés [6] .

Huseyin Gunerhan et Arif Hepbasli (2007) ont étudié l'influence de l'angle d'inclinaison et de l'orientation avec l'horizontal d'un capteur solaire sur le rayonnement solaire atteignant la surface du capteur, ils ont trouvé que la meilleure orientation du capteur solaire est de l'orienter directement au sud [1] .

K. Aoues et Al (2008) Cet article décrit un travail théorique en vue d'améliorer le coefficient de transfert convectif entre le fluide caloporteur et la plaque absorbante du rayonnement solaire.

en plaçant des chicanes cylindriques perpendiculairement à l'écoulement dans la veine d'air dynamique entre l'absorbeur et l'isolant. fig. (I.11) [7] .

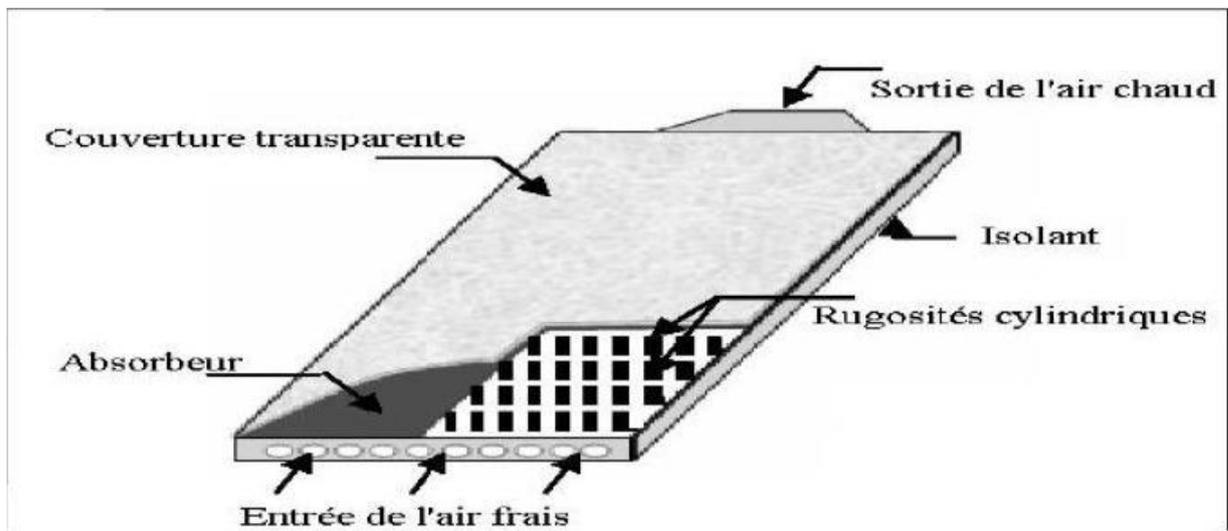


Fig.(I.11) : Capteur plan à air muni de rugosités cylindriques[7]

Les cas étudiés dans cet articles [7] :

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

* Le capteur plan à air muni de chicanes cylindriques arrangées en quinconces.

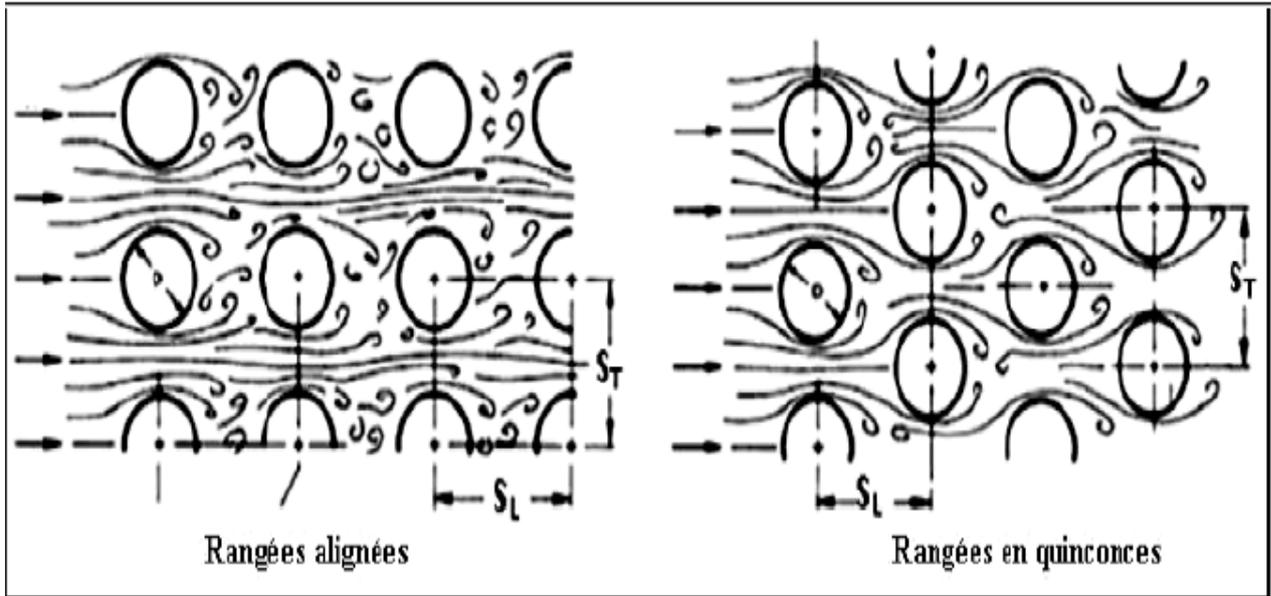


Fig.(I.12) : Différentes dispositions des rugosités cylindriques [7]

Le résultat obtenu dans cet article est le meilleur rendement est obtenu avec des chicanes cylindriques arrangées en quinconce, et le plus bas pour le capteur lisse [7] .

K. Aoues et Al (2009) ont introduit dans la veine d'air mobile des chicanes qui jouent un rôle à double aspect, favorisant le transfert thermique au fluide caloporteur

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

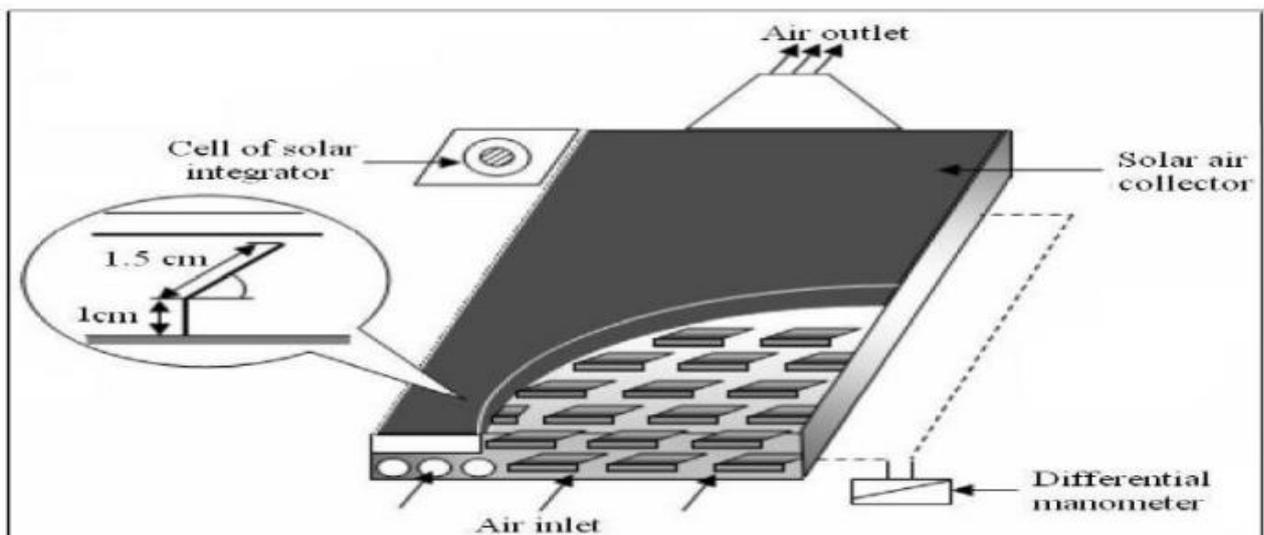


Figure (I.13) : Dispositif expérimental [16] .

La veine d'air dynamique du capteur est de 25mm de hauteur, comprise entre la plaque absorbante et une plaque en acier galvanisé placée sur l'isolant, cette veine est équipée de rangées d'obstacles métalliques minces soudées perpendiculairement à l'écoulement de l'air sur la plaque inférieure. Ces obstacles présentent une différence dans la forme résidant dans la partie inclinée d'angle α respectivement égale à 60° et 120° . Ces chicanes sont espacées d'une distance respectivement à $d=10$ cm et $d=5$ cm suivant deux configuration A et B qui se différencient par le nombre de rangées respectivement égale à 152 et 256 chicanes (figure I-14) [16].

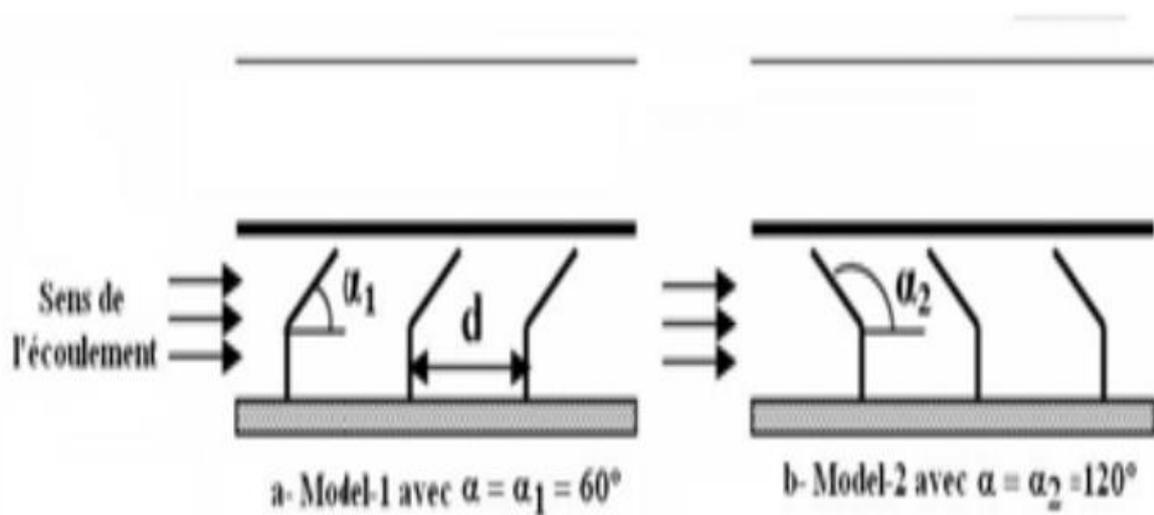


Figure (I.14) : Schéma descriptif des chicanes [16]

Après une série de tests expérimentaux, les auteurs ont conclu que la géométrie de passage dans la section droite perpendiculaire à l'écoulement joue un rôle important et ont trouvé que les chicanes modèle 1 ($\alpha = 60^\circ$) placées dans les configurations A1, B1 donnent les meilleurs résultats par rapport à ceux des configurations A2, B2 qui sont des chicanes modèles 2 ($\alpha = 120^\circ$). Cela s'explique par le fait que les chicanes du modèle 1 permettent l'orientation du fluide caloporteur en écoulement vers la plaque absorbante, d'où l'augmentation des échanges convectifs. Par contre, les chicanes du modèle 2 orientent le fluide caloporteur vers la plaque inférieure [16].

Chabane & all (2012) a mené une étude expérimentale sur les collecteurs thermiques plans sans ailettes (type A) et avec ailettes longitudinaux type (B) (voire figure I.15). Il a conclu que les collecteurs de type B (avec ailettes) ont une

efficacité thermique plus grande que les collecteurs de type A (sans ailettes) pour le même débit d'air $m = 0,015 \text{ kg / s}$. Cette différence atteint une valeur de 15,93% pour une intensité solaire de 285 W / m^2 [5].

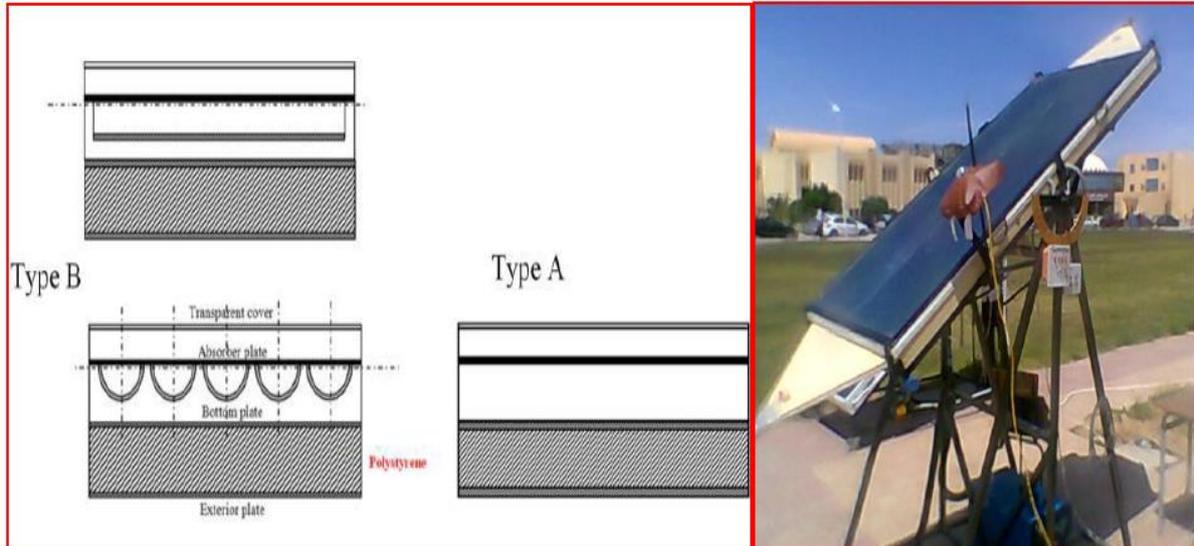


Fig.(I.15) : Sections et photo du dispositif expérimental [5]

Kaoulal et al. (2014) ont étudié théoriquement le comportement d'un capteur solaire plan à air à simple passage entre l'absorbeur et la vitre, intégré à la façade de bâtiment, fonctionnant en régime dynamique en convection naturelle et destinée au chauffage. L'analyse du comportement de ce dernier a permis d'établir un modèle basé sur la résolution des équations de bilans thermiques par la méthode nodale. A l'aide de la simulation numérique sous Matlab (en utilisant la méthode de Runge- Kutta), ils ont pu déterminer les profils de températures, du vitrage, de l'absorbeur, et du fluide caloporteur (l'air) à la sortie du capteur, ainsi que le rendement thermique instantané.[17].

R. Khama et al (2016) Ont étudié un capteur solaire plan à air pour le séchage des fruits et légumes, sous les conditions météorologiques de la ville de Ouargla au sud-est de l'Algérie. le capteur solaire plan à air a été face au sud afin de maximiser le rayonnement solaire incident. Il a été incliné d'un angle d'environ 32° . Les auteures ont arrivé aux resultats suivants :

- L'augmentation du rayonnement solaire n'a plus d'influence sur les températures du capteur solaire en ventilation naturelle (mode passif) qu'en ventilation forcé (mode actif)
- En ventilation naturelle, les valeurs du rendement thermique du capteur solaire varient entre 26.61 et 46.32% avec une moyenne de 32.32%, alors qu'en ventilation forcée, elles

- varie entre 33.45 et 66.56% avec une moyenne de 51.33% **Fig.(I.16).**

Le rendement du capteur solaire augmente linéairement avec l'augmentation du rayonnement solaire ($400 \leq I \leq 800 \text{ W/m}^2$) pour des vitesses de l'air fixées entre 1 et 1.40 m/s, mais l'effet de la vitesse de l'air sur l'efficacité du capteur solaire est négligeable un rayonnement solaire voisin de 800 W/m **Fig.(I.17)** [18].

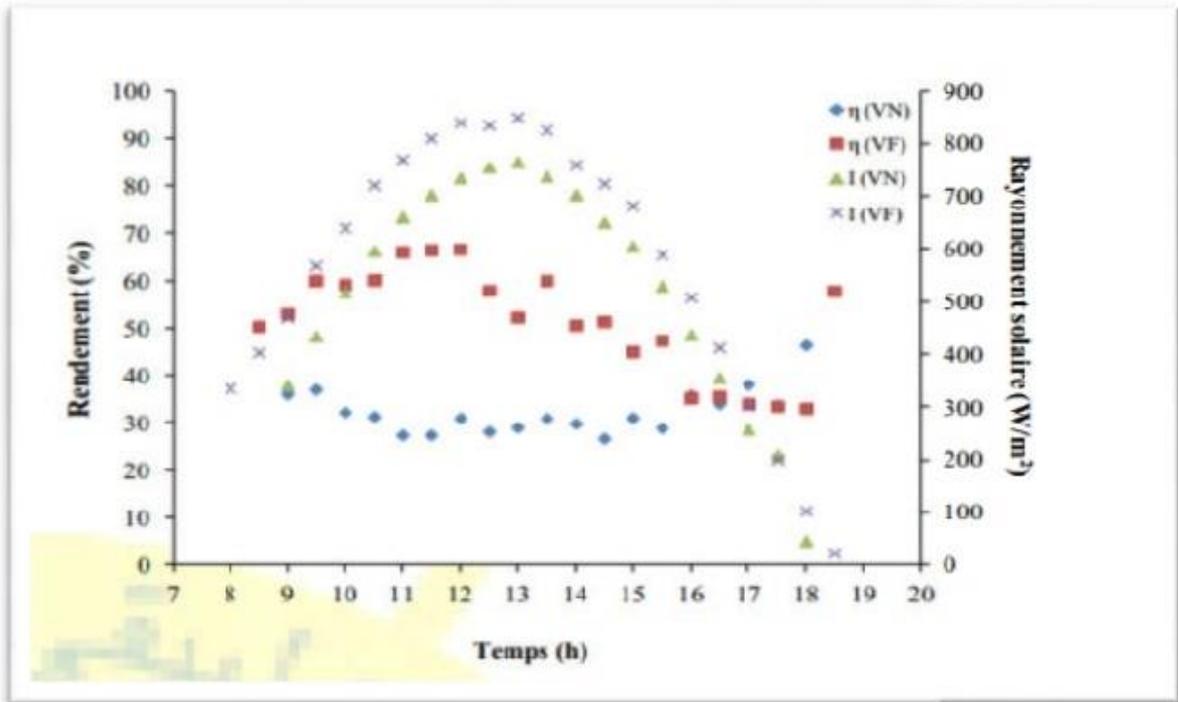


Figure I-16: Variation du rendement du capteur solaire en fonction du solaire et du temps[18]

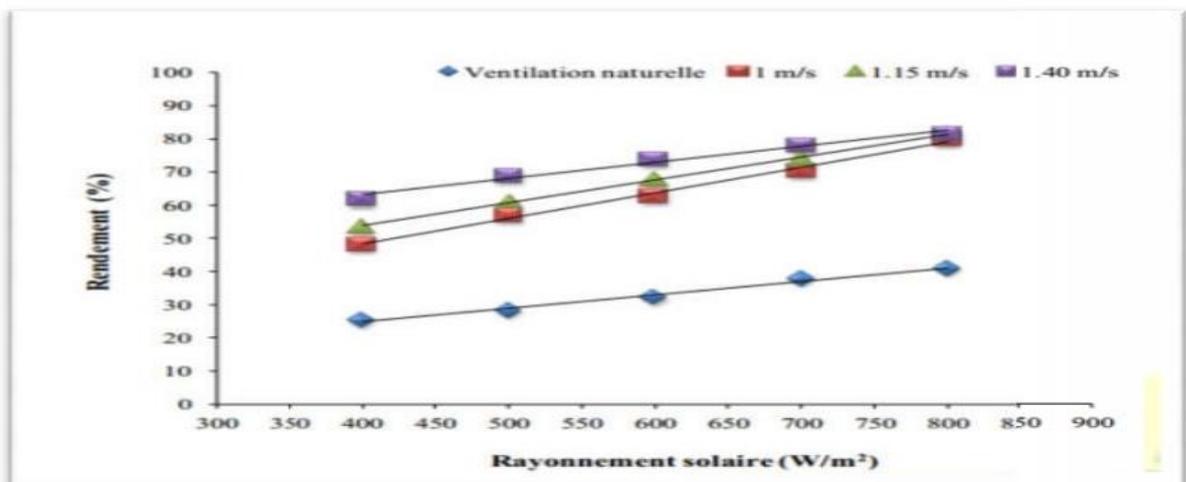


Figure I-17: Variation du rendement du capteur solaire en fonction du Rayonnement solaire [18]

Boumesli et al (2016) but de cette étude est la détermination des performances thermiques d'un capteur solaire à l'université de Laghouat. Cette étude vise à déterminer l'évolution de certains paramètres tels que : la température de sortie du fluide caloporteur (air), la température de l'absorbeur et la température de Plexiglas sous l'effet de l'inclinaison du capteur pour différents angles alpha et pour un débit volumique égale à $0.01002036 \text{ (m}^3/\text{s)}$.

Cette étude montre que la température de Plexiglas Cette étude montre que la température de Plexiglas angles étudiés et que la température de l'absorbeur augmente avec l'augmentation de l'angle alpha (**voir** la Figure I-18). Tandis que de la température de sortie du fluide caloporteur (air) augmente avec le temps, elle ainsi proportionnelle à l'angle d'inclinaison alpha (Figure I-19) [8].

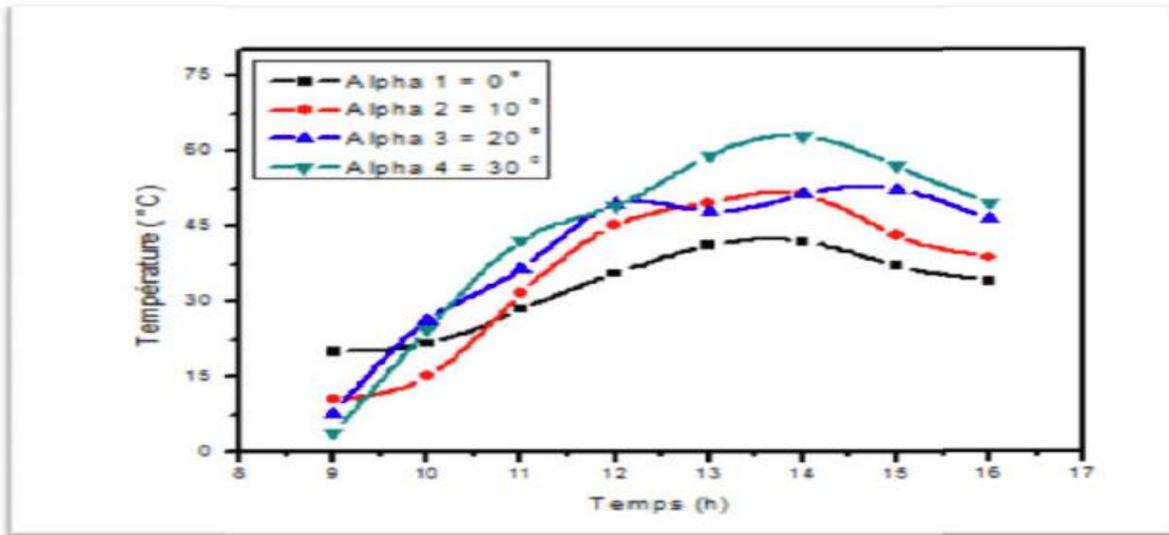


Fig.(I.18) : Evolution de la température de Plexiglas en fonction du temps de la journée pour différent angles d'inclinaison[8]

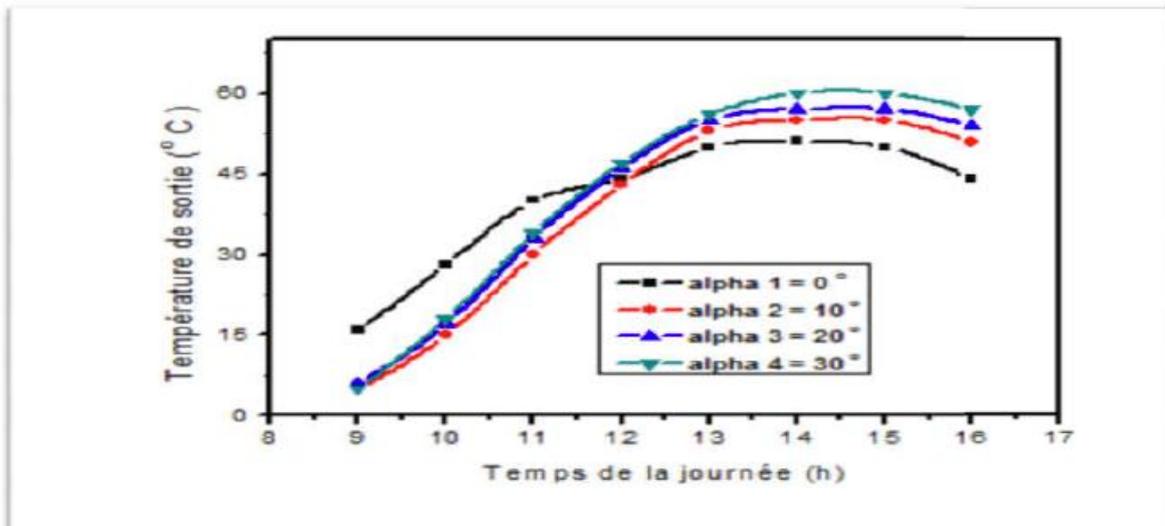


Fig.(I.19) : Evolution de la température de sortie en journée pour différent angles d'inclinaison [8]

CONCLUSION

A partir de cette étude bibliographique, on remarque que les précédents chercheurs ont fait beaucoup des recherches et des études concernant les capteurs solaires, et ils ont trouvés beaucoup des résultats qui permettent d'améliorer l'efficacité thermique et d'exploiter le maximum possible de la production énergétique de ces capteurs à partir de l'amélioration des différents paramètres influents sur leur efficacité thermique.

CHAPITRE

II

GÉNÉRALITÉS

SUR

LES CAPTEURS

SOLAIRES

II.1. Introduction

Les capteurs solaires sont des dispositifs dont le principe de fonctionnement est basé sur la transformation de l'énergie solaire en chaleur. Dans ce chapitre, nous allons présenter les notions de base des capteurs solaires principe de fonctionnement de ces systèmes, leurs différents types et leurs domaines d'application.

II.2. Historique des captures solaires

Le soleil constitue une source d'énergie permettant d'équilibrer la vie de l'homme sur terre.

L'utilisation des collecteurs solaires thermiques remonte dans le temps et ils peuvent être classés selon les différentes époques de l'évolution technologique et industrielle.

Vers 212 ans avant Jésus Christ, Archimède avait conçu une méthode de production de chaleur à l'aide de miroirs métalliques. En 1780 *l'effet de serre* est mis en évidence par un vitrage au-dessus d'un absorbeur dans un caisson isolé. Il faut cependant attendre 1910 pour voir apparaître les premiers chauffe-eau solaires. Comme beaucoup de filières d'énergies renouvelables, le solaire thermique connaît une phase de croissance importante entre 1973 et 1985 en réaction au choc pétrolier. Mais ce développement rapide, avec des technologies ou des installateurs déficients, a entraîné de nombreuses contre-performances.

À la fin du 18^{ème} siècle, Lavoisier construit un four solaire qui atteint la température de 1800 °C. Pour cela, il concentre les rayons solaires à l'aide d'une lentille à liquide. En 1816, Robert Stirling invente le "moteur à air chaud" (appelé aujourd'hui "moteur Stirling"), à 4 temps qui a révolutionné l'industrie.

Au cours du 19^{ème} siècle, Augustin Mouchot met au point de nombreuses inventions :

pasteurisation solaire, distillation solaire, cuisson solaire, pompage solaire, concentrateur parabolique alimentant des machines thermiques. Il a mis en place un réflecteur de 5 mètres de diamètre associé à une machine à vapeur qui actionne une presse d'imprimerie.

En 1910, Franck Shuman construit une centrale thermo solaire à taille industrielle et c'est à la

fin du 20^{ème} siècle que sont lancés diverses centrales et fours solaires à concentration après 6 différents prototypes, de même, de 1984 à 1991, de nombreuses centrales à miroirs cylindroparaboliques sont apparues.

Plusieurs applications industrielles telles que le dessalement de l'eau de mer, la production d'énergie, le séchage..., ont vu le jour dans plusieurs pays lors de ses 50 dernières années grâce aux collecteurs solaires [20].

II.3. Conversion thermique de l'énergie solaire :

La conversion thermique repose sur le principe de transformée de l'éclairement solaire en énergie thermique par l'intermédiaire (fluide caloporteur) qui est attaché directement avec un élément principal de capteur solaire dit l'absorbeur, pour l'utilisation typiques de cette chaleur, un sondage a été fait sur les capteurs solaires les plus connus et les plus développés appelés capteurs solaires plans, afin de déterminer les plages de températures accessibles Tableau 1.1, et donc en orientant chacun de ces capteurs vers les domaines d'applications adaptées à leurs propriétés thermiques [17].

Tableau II.1 : Plage de température pour un capteur solaire plan [17]

Type de capteur	Température de fonctionnement maximale approximative (° C)
Conception conventionnelle	40 – 80
Fabriqué en plastique	30 – 60
Non vitré	10 – 20

II.4. Principe de fonctionnement

Considéré comme élément essentiel chargé de capter et de transformer l'énergie, le capteur solaire utilise l'effet de serre où le rayonnement est capté dans le domaine du visible (longueurs d'onde comprises entre 0,3 et 3 μm), il traverse la vitre et est piégé à l'intérieur où il est capté par la surface absorbante. L'absorbeur émet du rayonnement thermique dans un domaine de l'infrarouge éloigné du visible (entre 4 et 30 μm). Ce rayonnement est partiellement arrêté par la paroi du verre qui s'échauffe et rayonne vers la surface absorbante.

Ce cycle interactif permet d'élever la température de la couverture transparente et de l'absorbeur.

Un échange par convection permet au fluide caloporteur de collecter une partie de cette énergie absorbée qui contribue à une élévation de température le long de son

parcours dans le capteur. Cette énergie sera par la suite transportée vers des installations pour usage. Côté extérieur, le capteur doit être isolé avec des matériaux de faible conductivité thermique afin de minimiser les pertes thermiques [20].

II.5. Éléments constitutants du capteur solaire

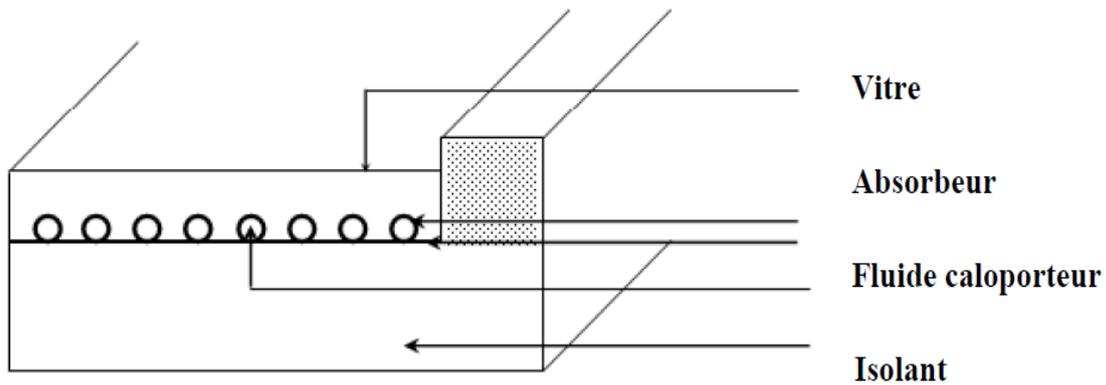


Fig.(II.1) : Composants d'un capteur solaire [10]

II.5.1. Absorbeur

Une surface qui a un coefficient d'absorption élevé est un bon absorbant du rayonnement solaire, en général à une haute émissivité à l'infrarouge, une peinture noire mate qui absorbe 96% de l'énergie solaire sera également irradiée d'une grande partie de l'énergie sous forme de chaleur qui dépend de la température de l'absorbeur et la vitre. Idéalement, une surface sélective et celle qui absorbe toutes les longueurs d'onde solaire et qui n'émette aucune des longueurs d'onde de chaleur, de sorte que plus de chaleur pourrait être transférée au fluide de travail, car une telle surface, $\alpha = 1$ et $\varepsilon = 0$. Les absorbeurs sélectifs fabriqués peuvent être proches de cet idéal [11].

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques thermo-physiques de quelques matériaux utilisés comme absorbeurs:

Tableau II.2 : thermo-physiques de quelques matériaux métalliques [11]

Métal	Conductivité Thermique $\lambda = (W/m.K)$	Chaleur massique $C_p = (J/kg.K)$	Masse volumique $\rho = (kg/m^3)$	Diffusivité thermique $\alpha = \frac{\lambda}{\rho C_p} \times 10^{-6} m^2/s$
Cuivre	384	398	9800	108
Acier inoxydable	14	460	7800	4
aluminium	204	879	2700	86

II.5.2. Couverture transparente

Ce sont les couvertures transparentes au rayonnement solaire mais opaques au rayonnement infrarouge de grande longueur d’onde émis par l’absorbeur (effet de serre). Ils sont en général en verre de faible teneur d’oxyde de fer, parfois en plastique, mais celui-ci vieilli mal sous l’action des ultra-violets. En général on ne dépasse pas deux vitrages car au delà le gain obtenu sur les pertes thermiques est compensé par les pertes de réflexion et réfraction. Les vitrages ont une épaisseur de 4mm environ et sont situés à 25 ou 40mm de l’absorbeur et munis de joints d’étanchéité au niveau du boîtier. Cette couverture doit assurer trois fonctions essentielles :

- * Recevoir le maximum du rayonnement incident sans réflexion ni diffusion importante.
- * Transmettre la plus part du rayonnement reçu
- * S’opposer aux déperditions thermiques par convection et rayonnement [12] .

Utilise comme couvertures de capteur les matériaux suivants :

Verre : Avec une épaisseur de 3 mm, le verre laisse passer entre 84 % et 92 % du rayonnement incident (sous une incidence normale). Il est conseillé de prendre du verre con contenant moins d'oxyde de fer pour s'approcher d'une transmission du verre pouvant atteindre 95% du rayonnement reçu. La transmission peut atteindre 96 % pour le verre anti reflet recouvert de part et d’autre d’une couche de nanostructure (fig. II.5)

Le verre primé évite qu'une trop grosse partie du rayonnement soit réfléchi quand l'angle d'incidence est faible. Le seul inconvénient des couvertures en verre consiste donc en leur fragilité vis à vis des chocs mécaniques et thermiques [13].

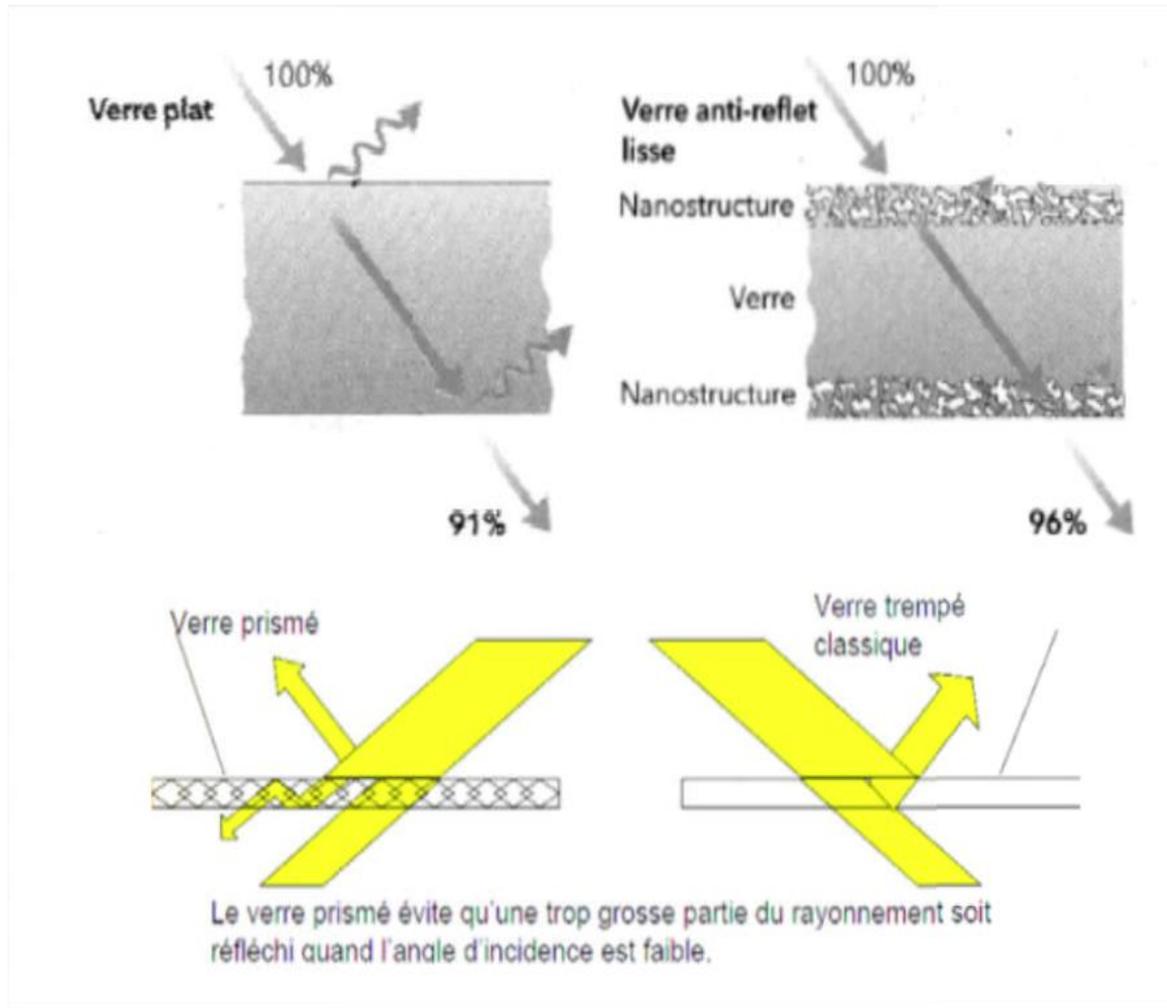


Fig.(II.2) : type de verre pour les couvertures[13]

Polyméthacrylate de méthyle (Plexiglas)

Ce matériau peut également remplacer le verre. Il est moins fragile mais il présente l'inconvénient de ne pas supporter une température de l'ordre de 95°C, son coefficient de transmission est plus faible que celui du verre, de l'ordre de 83% [13].

Polycarbonate

Le polycarbonate a l'avantage d'avoir une double paroi reliée par des alvéoles réduisant ainsi le problème de convection entre les deux plaques transparentes. Il transmet environ 84% du rayonnement reçu. Il a également l'avantage d'avoir une

solidité mécanique à toute épreuve et une facilité au découpage pour l'utilisation, il réduit également l'inertie du capteur par sa légèreté.

De multiples améliorations se sont greffées par exemple, une seconde vitre est parfois disposée au dessus du système, ceci permet de diminuer les pertes par convection avec l'air ambiant.

Les pertes par rayonnement infrarouge sont réduites de 30% car la moitié des 50% d'infrarouges émise vers l'extérieur par la première vitre, est récupérée par la seconde vitre.

Cependant, il faut compter les pertes supplémentaires de lumière dues au remplacement d'un vitrage simple par une double paroi, en effet ces pertes varient avec le type de construction, avec la hauteur et l'azimut du soleil [13].

II.5.3. L'isolant

Limiter les pertes de transmission vers l'extérieur est primordial pour optimiser les performances du capteur. Nombreux sont les produits isolants qui peuvent convenir pour l'isolation des capteurs, mais il faut veiller à la tenue de la température, car une coupure de circulation du fluide caloporteur peut faire monter la température intérieure du capteur à plus de 150°C. Les isolants généralement utilisés sont: le polystyrène, la laine de verre et les mousses polyuréthanes. Leur épaisseur varie de 4 à 8 cm [14].

On distingue trois types d'isolants: isolants minéraux, isolants d'origine végétale et isolants organiques [15].

II.5.4. -Fluide caloporteur

Le fluide caloporteur a pour rôle de véhiculer la chaleur cédée par l'absorbeur, pour l'utiliser directement ou pour la stocker. Le fluide caloporteur doit satisfaire à certaines conditions essentielles:

- Une faible viscosité.
- Un haut point d'ébullition et un bas point de congélation.
- Un coefficient de transfert thermique élevé.
- Une stabilité physique et chimique dans les conditions d'emploi et de stockage.
- Une grande capacité calorifique (Cp).

-Une agressivité faible devant les matériaux constituant (le capteur) avec lesquelles il est en contact [15] .

II.5.5. Le coffre

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

II.6. Types de capteurs solaires

II.6.1. Capturs plans non vitrés

C'est le modèle le plus simple, le plus économique mais le moins performant. Il est généralement constitué d'une simple plaque de métal ou de matière plastique (absorbeur) sur laquelle sont collés plusieurs tubes porteurs de fluide caloporteur. Les capteurs plans non vitrés ne sont pas isolés sur la face avant, c'est pourquoi ils répondent mieux à des applications à basse températures (inférieure à 30°C). Le domaine d'utilisation principal de ce type de capteurs est le chauffage des piscines extérieures. Parce qu'ils n'ont pas de vitrage, ces capteurs absorbent une grande partie de l'énergie solaire. Toutefois, parce qu'ils ne sont pas isolés sur leur face avant, la grande partie de la chaleur absorbée est perdue lorsqu'il y a notamment du vent et que la température extérieure n'est pas assez élevée. Brassé par de l'air chaud, ces capteurs absorbent la chaleur échangée en particulier au cours de la nuit lorsque la température est élevée en présence du vent à l'extérieur [20] .



Fig.(II.3) : Vu d'un capteur solaire non vitré [20]

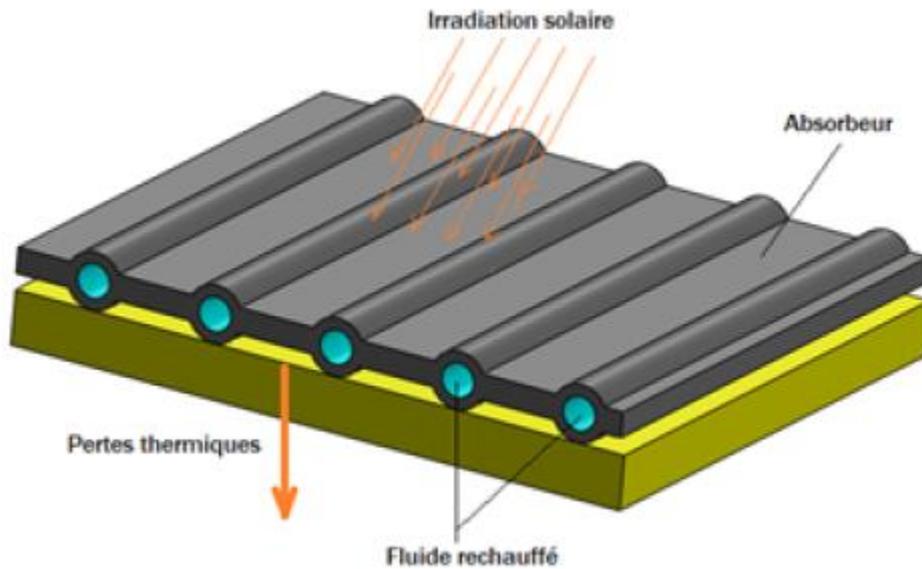


Fig.(II.4) : Description d'un capteur solaire non vitré. [20]

II.6.2. Capturs plans vitrés

Les capteurs solaires plans vitrés sont très répandus. Ils existent sous formes de capteurs à eau et de capteurs à air.

Ces capteurs conviennent mieux à des applications à température modérée où les températures souhaitées se situent entre 30°C et 70°C. Les capteurs à circulation d'eau sont plus couramment utilisés pour la production de l'eau chaude sanitaire à l'échelle individuelle ou collective, pour un usage industriel, ainsi que pour les piscines intérieures.

Les capteurs à air sont utilisés pour le séchage, pour le chauffage des locaux aussi l'air de ventilation [20] .

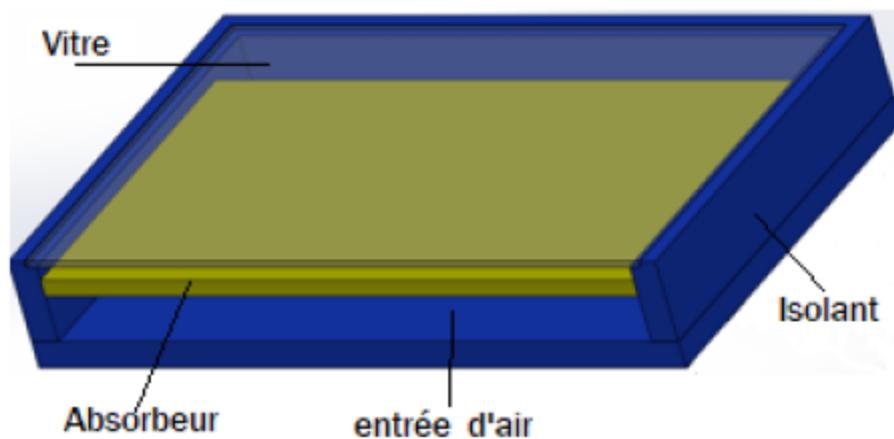


Fig.(II.5) :Capteur plan vitré [20]

II.6.3. Les capteurs sous vide

Les capteurs solaires "sous vide" sont composés d'une série de tubes en verre transparents.



Fig.(II.6) :Capteur sous vide [20]

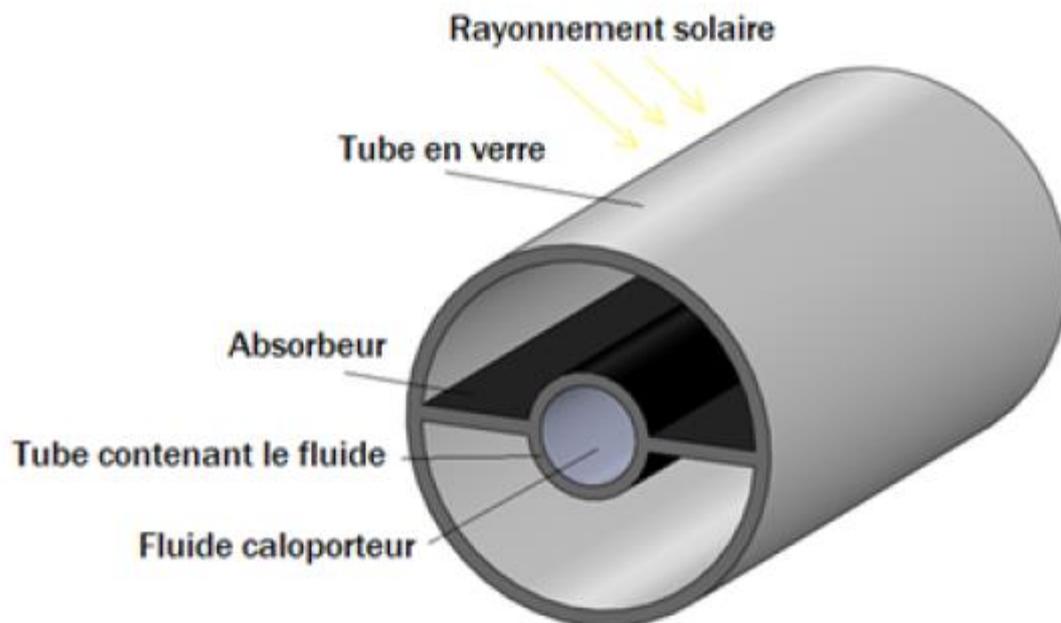


Fig.(II.7) :Capteur à tube sous vide. [20]

Dans chaque tube il y a une plaque absorbante pour capter le rayonnement solaire et un échangeur pour favoriser le transfert de l'énergie thermique. Les tubes sont mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques convectives de la plaque absorbante et la plaque absorbante reçoit un traitement sélectif pour empêcher le rayonnement à ce dissiper sous forme de grande

longueur d'onde. Ainsi, on peut réaliser des capteurs solaires performants sans une isolation thermique rapportée ou un coffre de protection [20] .

II.7. Les paramètres influant sur le fonctionnement d'un capteur solaire

L'efficacité thermique du capteur solaire dépend fortement du matériel, de la forme, des dimensions, de la disposition du capteur et des conditions environnantes. Tous ces facteurs peuvent être classés en deux catégories principales : [1]

II.7.1. La vitre

La plus part des capteurs solaires couverts utilisés sont à couverture simple, à double ou triple. S.Youcef-Ali a montré dans une étude expérimentale que la couverture triple donne des performances plus importantes que celle à double vitre grâce a la minimisation des pertes vers l'extérieur. Turhan. Koyuncu, a aussi étudié expérimentalement l'influence du nombre de couvertures et il a trouvé que ce facteur influe fortement sur l'efficacité du capteur.

Le verre est tout à fait intéressant comme couverture pour les dispositifs solaires, puisque il absorbe presque tout le rayonnement infrarouge réémis par l'absorbeur ayant pour résultats une amélioration de l'efficacité thermique du capteur. Mais son utilisation possède aussi des inconvénients qui sont, son coût élevé et sa fragilité pendant le transport et en service, c'est la raison pour laquelle, pendant plusieurs années des couvertures en plastique transparent ont été appliquées largement pour construire des capteurs solaires de coût modéré et rigides [1] .

II.7.2 L'absorbeur

L'augmentation de la surface du capteur accroît le taux du rayonnement solaire intercepté et la surface de contact entre l'absorbeur et le fluide caloporteur (augmentation de la surface d'échange), mais aussi elle augmente le coefficient des pertes thermiques entre la couverture et l'extérieur [1] .

II.7.3 Forme et diamètres des pipes

Un autre facteur influe aussi sur l'efficacité du capteur, c'est bien, la tuyauterie, qui est généralement soudée à la partie inférieure de l'absorbeur et des fois fait partie de l'absorbeur, sa forme diffère d'un capteur à un autre [1] .

II.7.4. L'isolation

Les pertes de chaleur principales du capteur sont de la couverture, puisque les cotées et le dos peuvent être isolés, alors que la face avant doit être exposée au rayonnement solaire et à la température ambiante. C'est pour cela l'air est utilisé fréquemment comme une isolation contre les pertes de chaleur conductrices et convectives de l'absorbeur vers la vitre [1] .

III.7.5. L'orientation et l'inclinaison du capteur

L'influence de l'orientation d'un capteur et de son inclinaison avec l'horizontal est due au fait que ces deux dernières changent le rayonnement solaire atteignant la surface du capteur.

Huseyin Gunerhan et Arif Hepbasli (2007) ont trouvé que la meilleure orientation du capteur solaire est de l'orienter directement au sud. L'angle optimum d'inclinaison est appliqué à une variété de systèmes, tels que, les capteurs plans ou paraboliques, les panneaux photovoltaïques, maisons solaires et serres installées dans une position fixe. Cet angle joue un rôle important en augmentant la collection d'énergie par les capteurs solaires [1].

II.7.6. Paramètres externes

II.7.6.1 Obstacles

Il s'agit avant tout des constructions et de la végétation, leur position dans la trajectoire solaire peut créer sur les surfaces captatrices une ombre nuisible au bon fonctionnement de l'installation [1].

II.7.6.2. Rayonnement solaire

Selon F. Moukhtari et D. Semmar (1999), l'efficacité du capteur solaire est influencée considérablement par le rayonnement solaire, et l'élévation de la température varie presque linéairement avec le rayonnement solaire incident [1].

II.7.6.3. Température

La température de l'environnement influence fortement sur le fonctionnement du capteur solaire et les capteurs peuvent être endommagés par le gel pendant la nuit couverte [1].

II.7.6.4 Vitesse du vent

La vitesse du vent apparaît dans le coefficient de convection entre la vitre et l'extérieur qui agit sur la valeur des pertes, c'est pourquoi la connaissance des données météorologiques est importante. Lorsque le coefficient de transfert thermique dû au vent est à son maximum (pour une longueur de 1m d'absorbeur noir installé horizontalement) la réduction maximum de l'efficacité s'avère au plus bas niveau [1].

II.8. Pertes thermiques dans un capteur solaire

Les pertes thermiques au niveau du capteur solaire peuvent avoir lieu par l'intervention des trois modes de transfert thermique: convection, conduction et rayonnement [1].

II.8.1 Pertes par convection

Ce mode de transfert intervient généralement entre la couverture et le milieu extérieur, l'absorbeur et la lame d'air, la lame d'air et la couverture. Le coefficient de pertes thermiques

augmente avec l'augmentation de l'émissivité de l'absorbeur, sa température, et le coefficient d'échange convectif avec l'air ambiant, alors qu'il diminue avec l'accroissement de la distance entre l'absorbeur et la vitre. Les obstacles soudés à l'absorbeur peuvent réduire les pertes par l'avant en diminuant la température de l'absorbeur [1].

II.8.2 Pertes par conduction

Les pertes par conduction peuvent avoir lieu entre l'absorbeur et la vitre lorsque ces derniers se trouvent sur une très faible distance, comme elles existent au niveau de l'isolation de la partie arrière et latérale du capteur [1].

II.8.3 Pertes par rayonnement

Les matériaux utilisés comme couvertures laissent passer le rayonnement solaire incident mais ils sont opaques au rayonnement infrarouge réémis par l'absorbeur porté à la température de 35 à 100 C (c'est l'effet de serre), la face interne de la couverture absorbe ce rayonnement infrarouge, puis elle subit une augmentation de température et rayonne à son tour moitié vers l'extérieur et moitié vers l'absorbeur. Donc, les pertes par rayonnement sont diminuées de moitié. Il serait possible de réduire encore ces pertes en mettant plusieurs couvertures [1].

II .9. Les différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire

Un capteur solaire met en jeu simultanément les trois modes de transfert thermique, conduction, convection et rayonnement (figure II.8) [10]

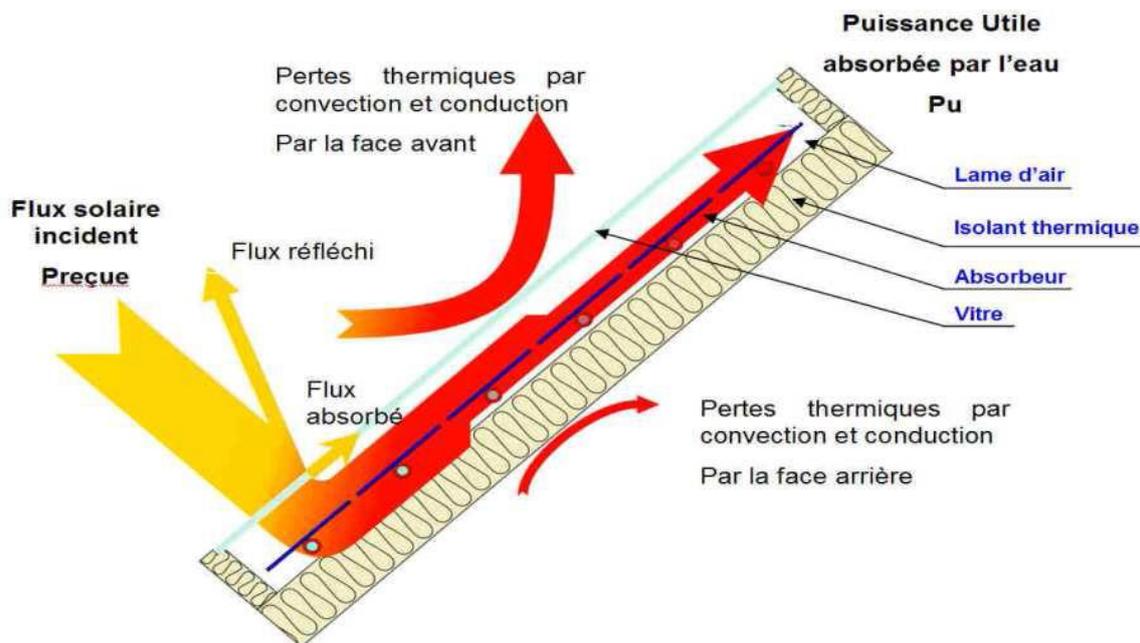


Fig.(II.8) :Les différents échanges thermiques dans un capteur solaire [10]

II.9.1 La conduction

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

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

$$q = -K * A * \text{grad}T$$

q : flux de chaleur.

K : coefficient de conductivité thermique.

A : surface d'échange [10] .

II.9.2 La convection

La convection est un transport d'énergie dû à des mouvements macroscopiques

On distingue deux types de convection

*** La convection forcée :**

le mouvement du milieu est engendré par un dispositif externe (le vent, une pompe, un ventilateur...etc.).

*** La convection naturelle :**

le mouvement du fluide est engendré par les variations de densité causées par des variations de température au sein du fluide, tel est le cas de la thermo circulation [10].

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

$$q = h * S * (T_p - T_f)$$

q : le flux échangé par convection.

h : coefficient de convection.

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

T_p : température de la paroi solide.

T_f : température du fluide.

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

- La vitre et l'ambiance, par convection libre ou forcée par le vent.
- La vitre et la plaque de l'absorbeur par convection libre.
- Le tube et le fluide par convection libre.
- Entre le fluide et l'isolant par convection libre.
- Entre l'isolant et l'ambiance par convection libre ou forcée par le vent[10] .

II.9.3. Le rayonnement

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

La loi fondamentale du rayonnement est celle de Stefan-Boltzmann

$$q = \epsilon * \sigma * T^2$$

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

ε: émissivité thermique du matériau.

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

T : température absolue du corps [10].

II.10. Classification des capteurs

On peut classer les capteurs selon

II.10.1. Le fluide de travail utilisé

On peut trouver :

***Des capteurs solaires à air :** Ce type de capteurs s'adapte aux appareils de chauffage à air pour le séchage des produits agro-alimentaires, et le chauffage des locaux.

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

L'eau et l'air sont les principaux fluides de travail utilisés pour les capteurs solaires plans, mais il en existe d'autres, tels que les hydrocarbures qui sont utilisés pour la réfrigération et la génération d'électricité [10].

II.10.2. L'orientation des capteurs

Les capteurs solaires peuvent être :

II.10.2.1. Des capteurs fixes

Ces capteurs ne bougent pas dans la journée, ce qui est le cas des chauffe-eaux solaires domestiques, et présentent les propriétés suivantes :

- * La simplicité et la fiabilité.
- * Un faible entretien.
- * Ils peuvent faire partie intégrante d'une construction (toit ou mur).
- * L'angle d'incidence du rayonnement solaire sur l'absorbeur n'est pas très longtemps Chaque jour à son maximum d'efficacité.

II.10.2.2. Des capteurs à poursuite

Le capteur solaire peut être muni d'un dispositif de guidage automatique dans la direction de provenance du flux lumineux, ce qui va améliorer le rendement du capteur [10] .

II.11. Applications des capteurs solaires plans à air

Les capteurs solaires plans à air peuvent être utilisés dans différents domaines d'application :

II.11.1. Chauffages et climatisation des habitations

Le principe est présenté sur la Figure I.14, consiste à chauffer le fluide dans le capteur solaire, l'air est véhiculé par ventilateur vers des points d'utilisations.

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

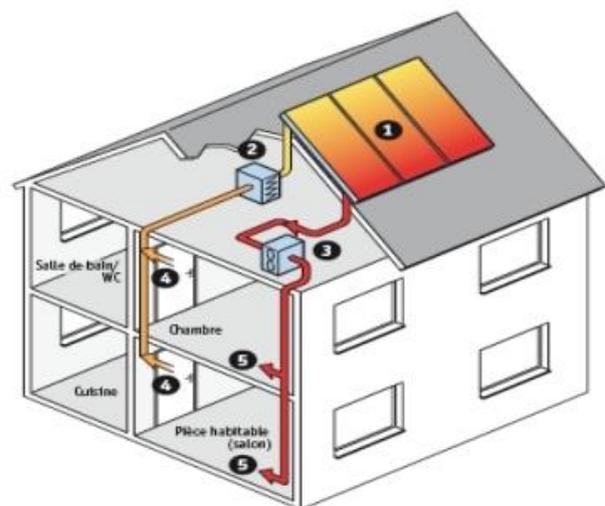


Fig.(II.9) : Chauffages et climatisation des habitations [17] .

Le système de capteur solaire à air se s'intègre dans l'habitat de façon modulaire et complète les systèmes de chauffage existants. Il permet de réaliser des économies substantielles

d'énergie et d'améliorer le bilan thermique des bâtiments sur la période hivernale et en mi-saison en apportant une source complémentaire de chauffage. Une régulation fait circuler l'air des locaux à travers le panneau dès que la température interne du panneau permet d'obtenir un gain significatif [17] .

II.11.2. Séchage

Le séchage est un procédé d'extraction d'eau d'un solide, d'un semi-solide ou d'un liquide par évaporation. Cette opération nécessite une source de chaleur. Plusieurs techniques sont possibles pour sécher et conserver nos produits.

La technique de séchage courante, est généralement réalisée sur sol, elle est la plus utilisée dans les pays en voie de développement afin de préserver les denrées alimentaires, telles que les céréales, les légumes, la viande et le poisson, etc [17] .

- **But de séchage**

Le but du séchage consiste à diminuer la teneur en eau des produits agroalimentaire jusqu'à des valeurs résiduelles inhibant le développement de tout micro-organisme permettant ainsi leur stockage dans des conditions ambiantes [17]

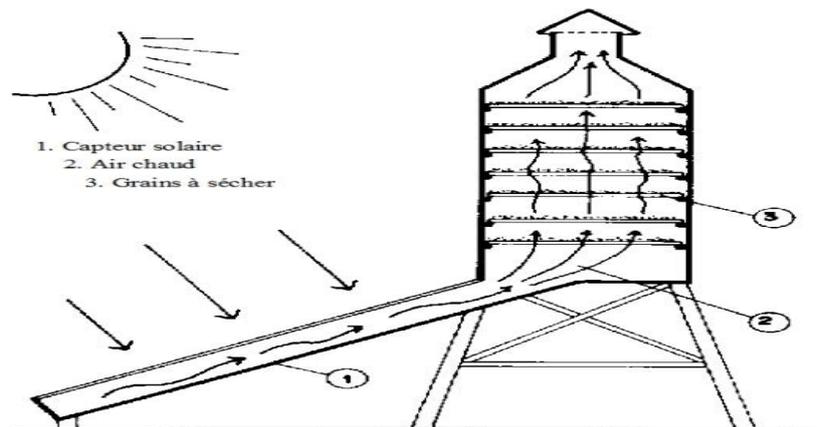


Fig.(II.10) : Séchage solaire [17]

II.11.3. Production de l'énergie mécanique

Dans les pays arides, ou dans les régions-isolées, il peut être très intéressant de réaliser des installations à partir d'une machine solaire, soit pour pomper l'eau, soit pour une production d'électricité. On peut utiliser un moteur à air chaud dont le principe est le suivant l'air atmosphérique est comprimé dans un cylindre par un piston et chauffé par l'intermédiaire d'un capteur à air. L'air chauffé, en se détendant, pousse le piston. Celui-ci en revenant comprime l'air dont le reste de chaleur est évacuée à une source froide ; et ainsi de suite [17].

II.12. Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre une étude générale sur les capteurs solaire et tous qui dépendent de ses types, ses composantes, les facteurs influant sur leur efficacité, et le domaine d'utilisation de chaque un. Et nous verrons dans le chapitre suivant les formules mathématiques liées aux phénomènes physiques qu'ils génèrent dans ce capteur.

CHAPITRE III

MODÉLISATION

ET

SIMULATION

NUMÉRIQUE

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons donner différentes modélisations des panneaux solaires simples sans et avec vitrage. Ainsi, nous présentons les modèles mathématiques et numériques adoptés pour caractériser l'écoulement et le transfert de chaleur de l'air dans le conduit d'un capteur solaire à air.

III.2. Modélisation des échanges thermiques dans le Capteur Solaire Plan à air

Le bilan thermique d'un capteur plan s'obtient simplement en admettant que l'énergie absorbée soit (I_g), se répartisse de la façon suivante [19] :

$$I_g = Q_u + Q_p + Q_s$$

Avec:

I_g : Flux global reçu par l'insolateur.

Q_u : Quantité de chaleur utile récupérée par le collecteur et emportée par le fluide caloporteur.

Q_p : Quantité de chaleur perdue par le collecteur par les différents modes de transfert vers le milieu ambiant.

Q_s : Quantité de chaleur stockée par le collecteur dans ces différents constituants.

Dans le cas du régime thermique permanent et pour les capteurs à air, la quantité d'énergie stockée Q_s

dans les différentes parties de l'insolateur est négligeable, la relation précédant devient :

$$I_g = Q_u + Q_p$$

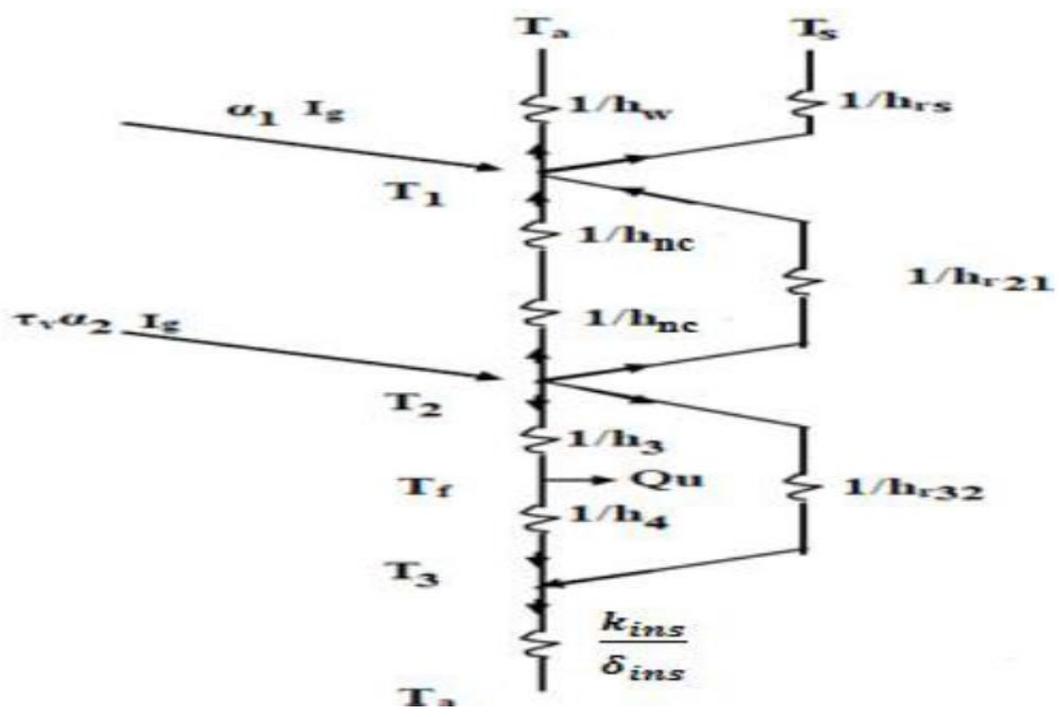
III 3. méthode de modélisation

La méthode de modélisation est la Méthode par tranches (Méthode pas à pas).

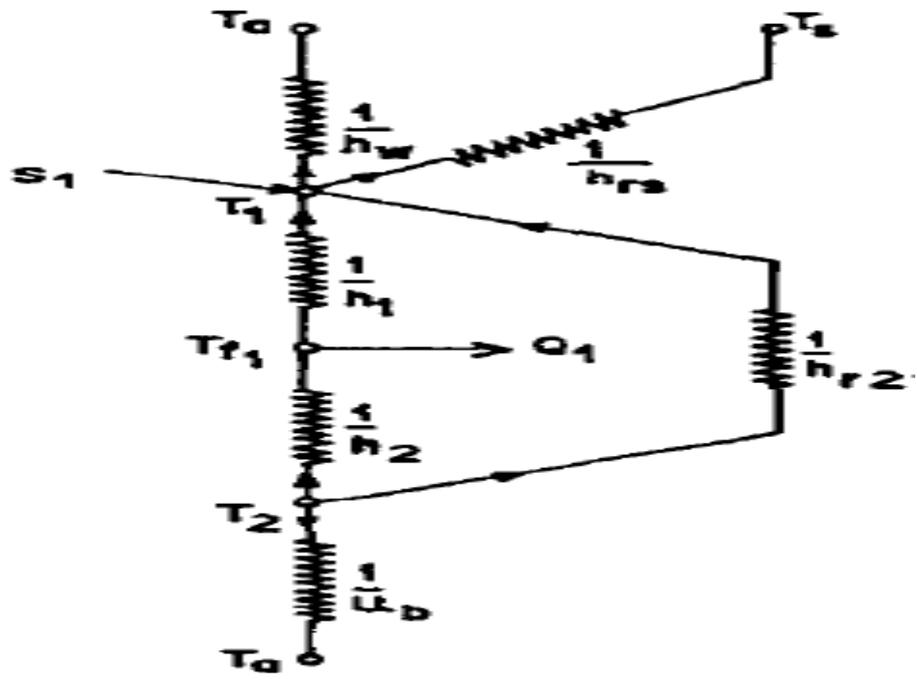
Elle consiste à découper l'insolateur en tranches fictives de longueur " δx " dans le sens de l'écoulement de l'air et à écrire le bilan des échanges dans chaque tranche.

Il est commode pour cela d'utiliser les analogies qui existent entre le transfert de chaleur et le transfert d'électricité.

les différents échanges thermiques qui ont lieux, sont schématisés par le circuit électrique équivalent figures suivants



A) Capteur avec vitre



B) Capteur sans vitre

Fig.(III.1) : Schéma électrique équivalent relatif à une section de l'insolateur [19] .

III.4. Les Bilans énergétiques au niveau dans chaque un composant d'un capteur plan vitré et non vitré

III.4.1. capteur solaire à air avec et sans vitre [19]

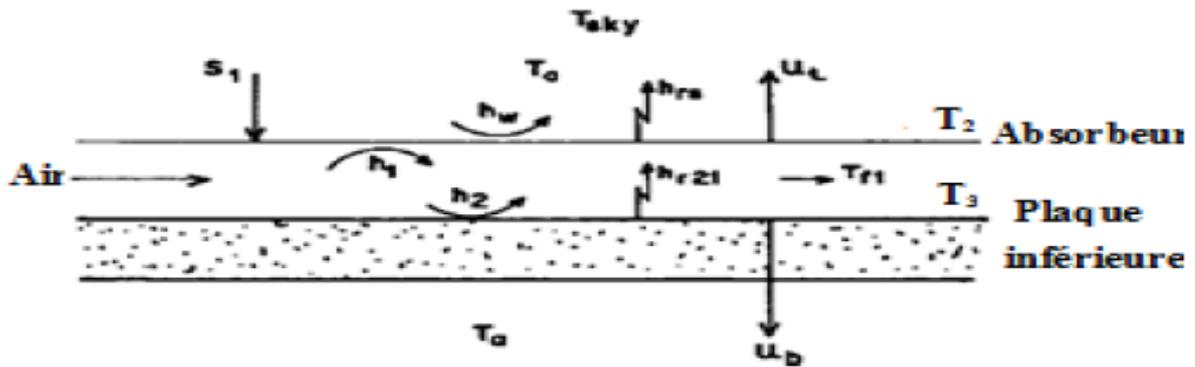


Fig III.2 :Capture sans vitre [19]

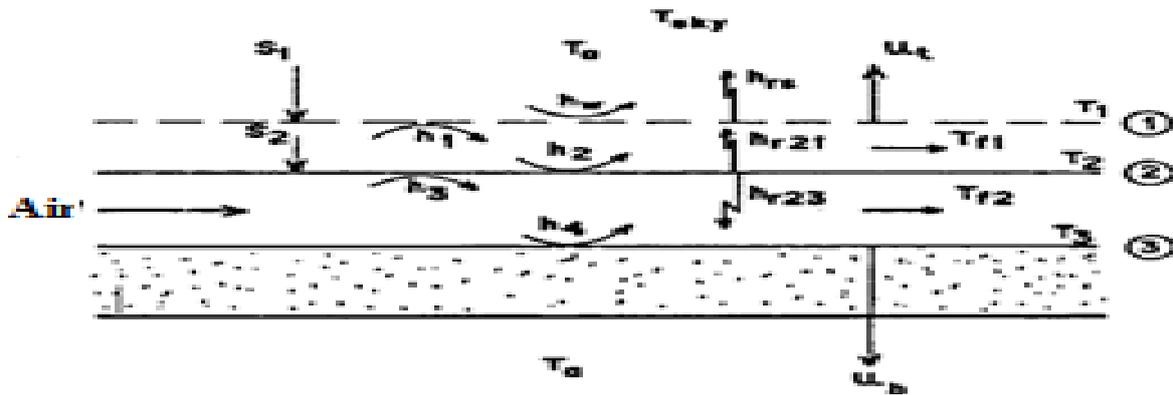


Fig III.3 :capteur avec vitre [19]

III.4.1.1. Bilan énergétique au niveau du vitrage [19]

$$S_1 + h_{r21}(T_2 - T_1) + (T_2 - T_1) + (T_a - T_1) = 0$$

$$S_1 = \tau\alpha_1 I_g$$

$$(h_{r21} + h_{nc} + U_L) T_1 - (h_{r21} + h_{nc}) T_2 = S_1 + U_t T_a$$

III.4.1.2. Bilan énergétique à travers l'absorbeur [19]

$$h_3(T_2 - T_f) + h_{nc}(T_2 - T_1) + h_{r32}(T_2 - T_3) + h_{r21}(T_2 - T_1) = S_2$$

$$\text{Avec : } S_2 = \tau \alpha_2 I_g$$

$$-(h_{r21} + h_{nc}) T_1 + (h_3 + h_{nc} + h_{r32} + h_{r21}) T_2 - h_3 T_f - h_{r32} T_3 = S_2$$

III.4.1.3. Bilan énergétique du fluide [19]

$$\dot{m} C_p \frac{dT_f}{w dx} = h_3(T_2 - T_f) + h_4(T_3 - T_f)$$

$$\dot{m} C_p \frac{dT_f}{w dx} = \Gamma_1(T_{fi} - T_{f,i-1})$$

$$\Gamma_1(T_{fi} - T_{f,i-1}) = h_3(T_2 - T_f) + h_4(T_3 - T_f)$$

$$h_3 T_2 - (h_3 + h_4 + \Gamma_1) T_{fi} + h_4 T_3 = -\Gamma_1 T_{f,i-1}$$

III.4.1.4. Bilan énergétique de la plaque inférieure [19]

$$h_4(T_3 - T_f) w dx + U_b(T_3 - T_a) w dx + h_{r32}$$

$$(T_3 - T_2) w dx = 0$$

$$-h_{r32} T_2 - h_4 T_f + (h_{r32} + U_b + h_4) T_3 = U_b T_a$$

III.5. Méthode de resolution

Ce système d'équation peut être mis sous la forme matricielle suivante :

$$[A][T] = [B]$$

Tel que :

Capteur solaire à air avec vitre

$$\begin{pmatrix} h_{r21} + h_{nc} + U_t & -(h_{r21} + h_{nc}) & 0 & 0 \\ -(h_{r21} + h_{nc}) & (h_3 + h_{nc} + h_{r32} + h_{r21}) & -h_3 & -h_{r32} \\ 0 & h_3 & -(h_3 + h_4 + \Gamma_1) & h_4 \\ 0 & -h_{r32} & h_4 & (h_{r32} + U_b + h_4) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_{fi} \\ T_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_1 + U_t T_a \\ S_2 \\ -\Gamma_1 T_{f,i-1} \\ U_b T_a \end{pmatrix}$$

Capteur solaire à air sans vitre

$$\begin{pmatrix} (h_{r21} + h_1 + U_l) & -h_1 & -(h_{r21}) \\ h_1 & -(h_1 + h_2 + \Gamma_1) & h_2 \\ -h_{r21} & -h_2 & (h_{r21} + h_2 + U_b) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} T_1 \\ T_f \\ T_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_1 + U_t T_a \\ -\Gamma_1 T_{f,i-1} \\ U_b T_a \end{pmatrix}$$

III.6. Modélisation des coefficients d'échange thermique [21]

En plus des hypothèses générales mentionnées pour la modélisation des capteurs utilisant la méthode globale, on pose les hypothèses particulières suivantes :

- * Les gradients transversaux de température dans l'absorbeur sont négligés (la conductivité thermique de l'absorbeur est supposée très grande).
- * Le vent extérieur est supposé de direction toujours parallèle aux faces de l'insolateur
- * La conduction thermique dans le sens de l'écoulement est négligeable
- * Le régime stationnaire et transitoire.

Pour déterminer les coefficients d'échange thermique "h", les relations suivantes sont utilisées, selon qu'il s'agit d'un transfert par conduction, rayonnement ou convection [19] .

III.6.1. Transfert radiatif

On considère un transfert radiatif entre deux plaques parallèles de températures T1 et T2 (exprimées en Kelvin). On applique la formule [19] :

$$h = \frac{\sigma(T_1 + T_2)(T_1^2 + T_2^2)}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} - \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2} \frac{S_2}{S_1}}$$

Où :

T1 et T2 : sont les températures absolues des deux faces, supposées uniformes,

εi : est l'émissivité du milieu i

F12 : est le facteur de forme géométrique entre les surfaces S1 et S2, pris généralement pour les diverses parties de l'insolateur égale à 1,

σ: est la constante de Stephan-Boltzmann.

$$\sigma = 5.67 * 10^{-8} \text{ (w / m}^2\text{k}^4\text{)}$$

III.6.1.1. Transfert radiatif entre la vitre et la voûte céleste [19]

$$h_{rS} = \frac{\sigma\epsilon_1(T_1 + T_S)(T_1^2 + T_S^2)(T_1 - T_S)}{(T_1 - T_a)}$$

T_s : est la température équivalente de la voûte céleste donnée par la relation de Swinbank (1963) :

$$T_s = 0,0552 \cdot T_a^{1,5}$$

Les températures T_s et T_a sont exprimées en Kelvin [19] .

III.6.1.2. Transfert radiatif entre la vitre et l'absorbeur [19]

$$h_{r21} = \frac{\sigma(T_1 + T_2)(T_1^2 + T_2^2)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)}$$

Les températures T_1 et T_2 et sont exprimées en Kelvin.

III.6.1.3. Transfert radiatif entre l'absorbeur et la plaque inférieure placée sur l'isolant [19]

$$h_{r32} = \frac{\sigma(T_3 + T_2)(T_3^2 + T_2^2)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_3} + \frac{1}{\varepsilon_4} - 1\right)}$$

Les températures T_3 et T_2 et sont exprimées en Kelvin.

III.6.2. Transfert convectif [19]

On distingue deux types d'échanges convectifs :

- * Ceux dus au vent
- * Ceux intervenant dans l'insolateur [19]

III.6.2.1. Transfert convectif dû au vent [19]

Pour le calcul du coefficient h_v on utilise la relation de Hottel et Woertz [19]

$$h_v = 5,67 + 3,86 V_v$$

Où : V_v est la vitesse du vent en (m/s).

III.6.2.2. Transferts convectifs dans le capteur [19]

*** Transfert convectif entre l'absorbeur et la vitre**

Le coefficient de pertes par conduction-convection naturelle, entre l'absorbeur et la vitre, rapporté dans s'écrit : [19]

$$h_{nc} = 1.42 \left(\frac{(T_2 - T_a) \sin \square}{L} \right)^{1/4}$$

*** Dans la veine d'air mobile**

Pour la convection forcée et dans le cas des conduits rectangulaires, l'échange entre l'absorbeur et le fluide caloporteur est caractérisé par le coefficient [19] :

$$h_3 = \frac{N_u D_h}{K_f}$$

$$K_f = (0.0015215 - 0.097459T_f - 3.3322 * 10^{-5}T_f^2) * 10^{-3}$$

$$C_p = 1004 \frac{J}{kg \cdot K}$$

Le coefficient de transfert de chaleur par convection de l'air circulant à travers le canal à écoulement laminaire peut être estimé par la relation suivante [19] .

$$h_3 = \frac{N_u D_h}{K_f} = 4.4 + \frac{0.00398 \left(\frac{0.7 R_e D_h}{L} \right)^{1.66}}{1 + 0.0114 \left(\frac{0.7 R_e D_h}{L} \right)^{1.12}}$$

pour $(R_e < 2300)$

Et pour l'écoulement turbulent pleinement développé, le coefficient de transfert de chaleur est calculé par

$$h_3 = \frac{Nu D_h}{K_f} = 0.0158 R_e^{0.8}$$

pour $(R_e > 2300)$

Où le nombre de Reynolds est donné par : [19]

$$R_e = V_f \frac{D_h}{\nu_f}$$

Le coefficient d'échange entre la plaque inférieure et le fluide caloporteur est donné par : [19]

$$h_4 = h_3$$

III.7. Les pertes thermiques

III.7.1. Pertes à l'arrière

L'expression des pertes de la face arrière de l'insolateur est

$$U_b = \frac{k_{ins}}{\delta_{ins}}$$

Où : U_b : Le coefficient de perte de chaleur de fond.

k_{ins} : la conductivité thermique de l'isolant.

δ_{ins} : Les épaisseurs de l'isolant. [19]

III.7.2. Pertes à l'avant

$$U_L = h_{rs} + h_v$$

Où :

h_v est le coefficient d'échange convectif du au vent, entre la face inférieure de l'insolateur et l'air extérieur. [19]

III.8. Rendement thermique et l'énergie utile (récupérée par le fluide caloporteur)

A condition que, les températures d'entrée et de sortie d'air sont connues, l'équation suivante peut être utilisée pour représenter l'énergie utile [19] :

$$\eta Q_u = \dot{m} C_p (T_{fs} - T_{fi})$$

Ainsi, le rendement thermique η du collecteur peut être calculée par:

$$\eta = \frac{Q_u}{I_g A_p} = \frac{\dot{m} C_p (T_{fs} - T_{fi})}{I_g A_p}$$

III.9. Puissance absorbée [19]

Puissance absorbée par la vitre (S_1):

$$S_1 = \alpha_1 I_g$$

Où : α_1 : coefficient d'absorption de la vitre

S_1 : Puissance absorbée par l'absorbeur

$$S_2 = \tau \alpha_2 I_g$$

Où α_2 : coefficient d'absorption de l'absorbeur

τ : Transmissivité de vitre

III.10. Simulation

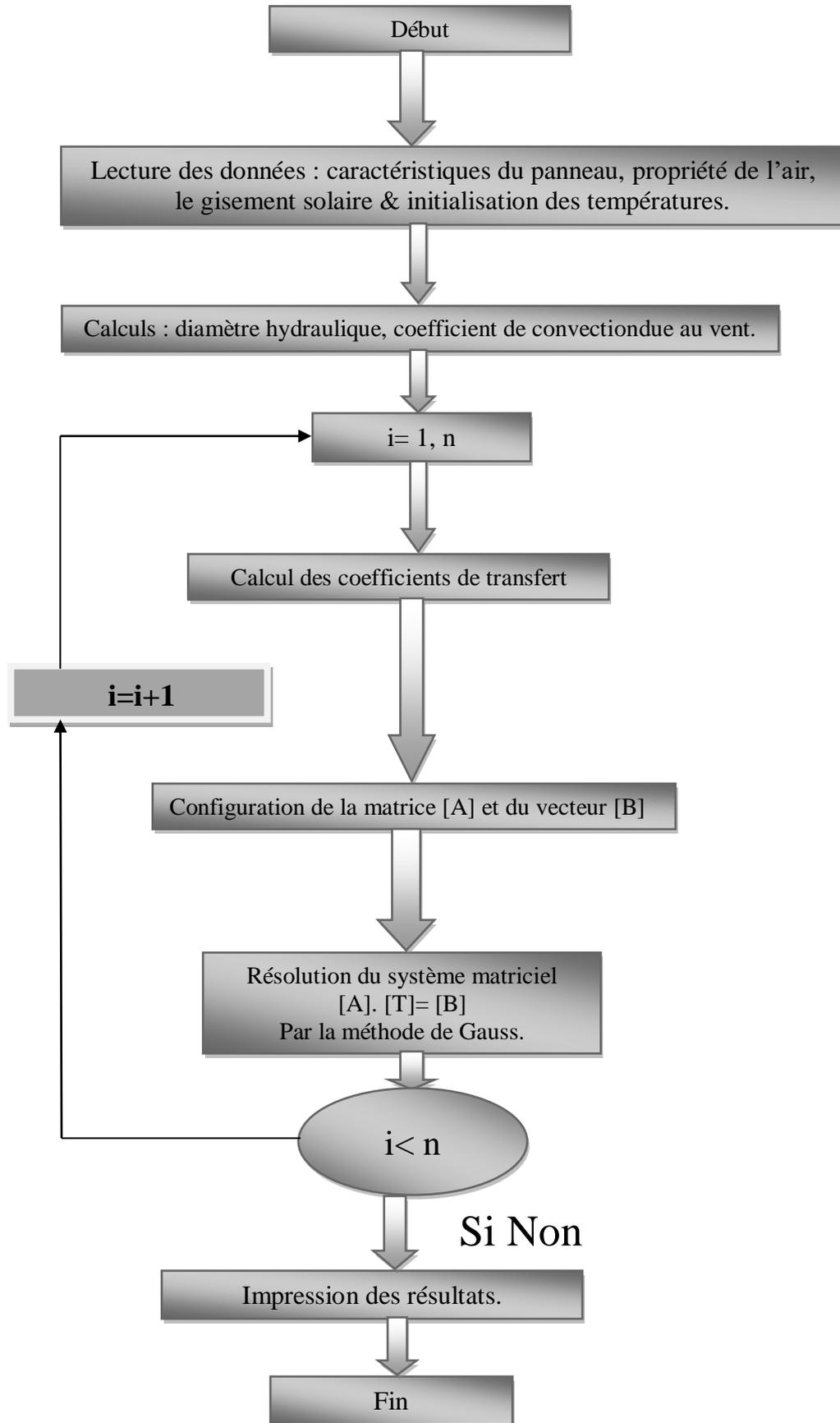
La simulation est faite à l'aide d'un programme établi à cet effet en langage **MATLAB** pour déterminer les températures des différents constituants du système , ce qui facilite l'obtention de l'évolution de la température du fluide ainsi que la température de la vitre, l'absorbeur et l'isolant pour les deux systèmes capteurs simple sans et avec vitrage .

Caractéristiques du capteur étudié [21] :

Le capteur solaire plan étudié présente les caractéristiques suivantes:

- le fluide caloporteur est l'air
- l'inclinaison des capteurs $\beta=34^\circ$
- Surface $S=1.04 \text{ m}^2$
- l'épaisseur de l'absorbeur $e_p=0,044\text{m}$
- coefficient d'absorptivité de l'absorbeur. $\alpha =0.95$
- coefficient d'absorptivité de la vitre. $\alpha =0.05$
- émissivité de la plaque arrière $\varepsilon =0.89$
- émissivité du vitrage $\varepsilon_v=0.90$
- coefficient de transmissivité du vitrage $\tau =0.90$

III.11. Organigramme :



III.12. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents modèles mathématiques et numériques adoptés pour caractériser l'écoulement et le transfert de chaleur de l'air dans le conduit d'un capteur solaire à air.

Puis, nous avons développé un programme en langage "MATLAB" qui nous a permis de calculer les performances thermiques des panneaux solaires plans à air

CHAPITRE IV

RÉSULTATS

ET

DISCUSSIONS

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter et valider les résultats des modèles mathématiques développés à partir de l'analyse des bilans énergétiques des différents panneaux solaires à air avec et sans vitrage

IV.2. Validation des resultants dans un capteur solaire sans vitre

Les résultats numériques de température de l'air été effectuée en matière de température de fluide dans les conditions suivantes :

$I_g = 900 \text{ W/m}^2$, $T_a = T_e = 31,7 \text{ }^\circ\text{C}$, $Re = 1670$

Tableau IV.1. Validation de la température du fluide de sortie

Re=16700	
Position(m)	T_{fs} (K)
0	304.7
2.25	309.7538
4.5	314.5359
6.75	318.6728
9	322.5772

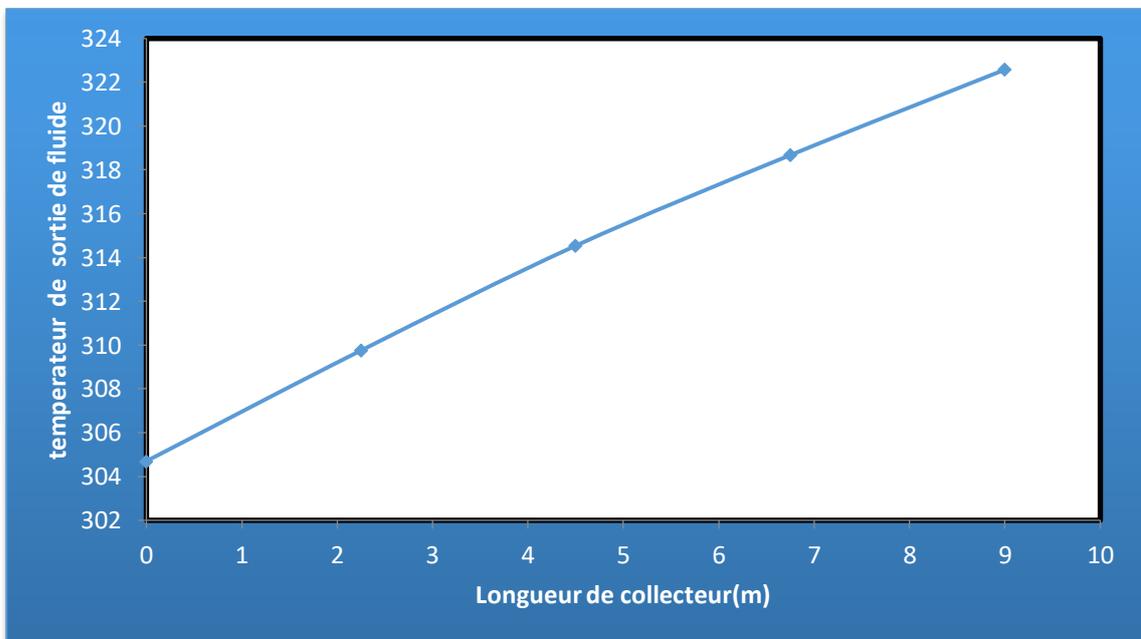


Fig IV.1 : Variation de température de sortie de fluide le long du capteur solaire

On faire une comparaison entre les résultats obtenus concernant les capteurs solaires à air sans vitre et ceux trouvés dans la littérature résultats de Gan [22] a été effectuée en matière de température de fluide dans les mêmes conditions opératoires ($I_g= 900W/m^2$, $T_a=T_e=31,7\text{ }^\circ C$, $Re= 1670$).

Tableau IV.1 Resultats de Gan [22]

Re=16700	
Position(m)	T_{fs} (K)
0	304.7
2.25	310
4.5	315.8
6.75	319
9	322.2

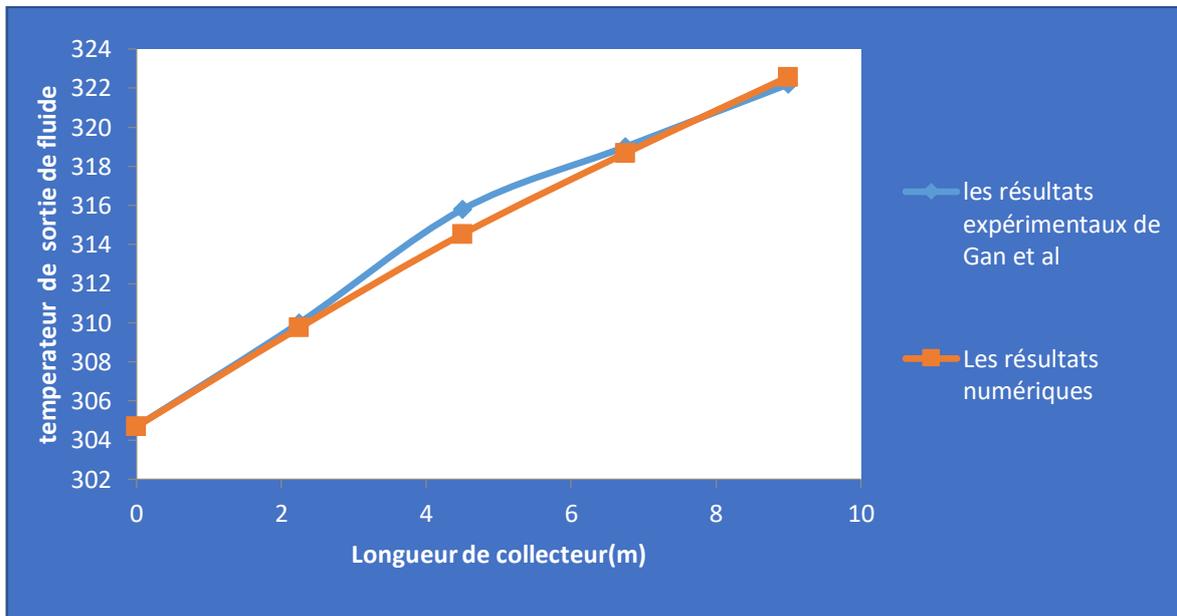


Fig. IV.2 : Variation de température de sortie de fluide le long du capteur solaire

On constate que les résultats du modèle numérique concordent assez bien avec les résultats expérimentaux de Gan et al. [22]

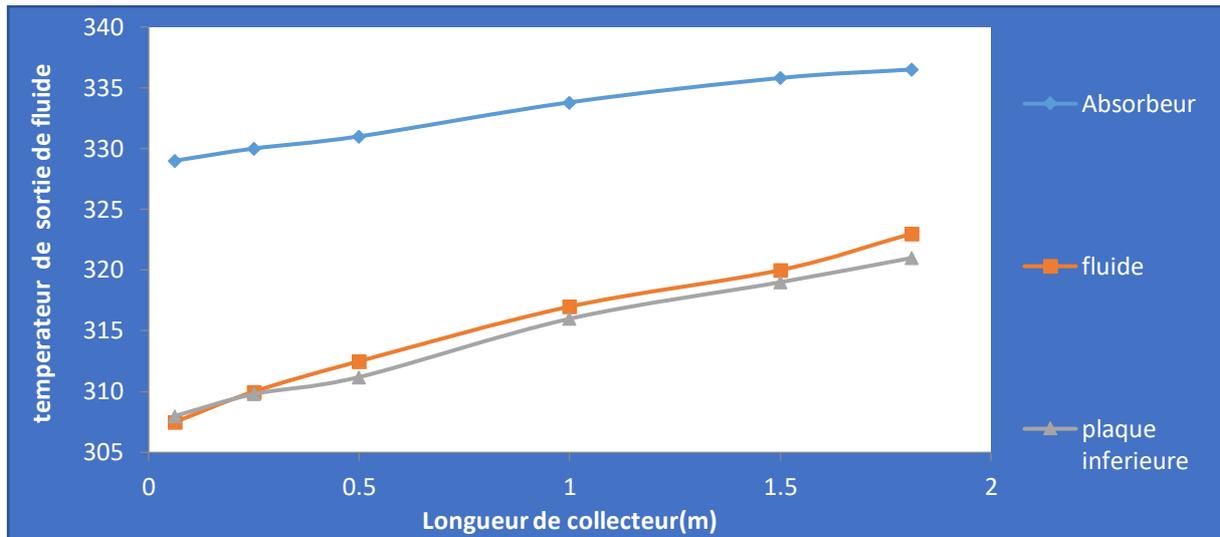


Fig. IV.3 : Variation des températures numériques et expérimentales le long du collecteur solaire, avec $Re = 38381,6$, $I_g = 900W / m^2$

Figure IV.3 : montre la variation de température à la section centrale des différents composants du capteur solaire (l'absorbeur, le fluide plaque inferieure) en fonction de Longueur de collecteur(m)

On remarque que la température de l'absorbeur est la plus grande par rapport aux températures des autres composants du capteur.

En effet, l'absorbeur absorbe la grande partie du rayonnement solaire grâce à son fort coefficient d'absorption pour chauffer le fluide dans les deux conduites.

On observe aussi que la température de l'absorbeur est faible à l'entrée du capteur qui est dû au transfert de chaleur entre le fluide qui entre avec une faible température et l'absorbeur.

IV.3. Validation des resultants dans un capteur solaire avec vitre

Le code numérique écrit en langage matlab a été validé pour le cas d'un capteur solaire plan à air en comparant nos résultats avec les travaux réalisés par Chabane et al. [23]

Les résultats numériques obtenus dans ce travail sont en bon accord avec ceux obtenus par Chabane et al.

La gisement solaire en fonction de temps après les traveaux de Chabane et al. [23] est dans la figure suivante

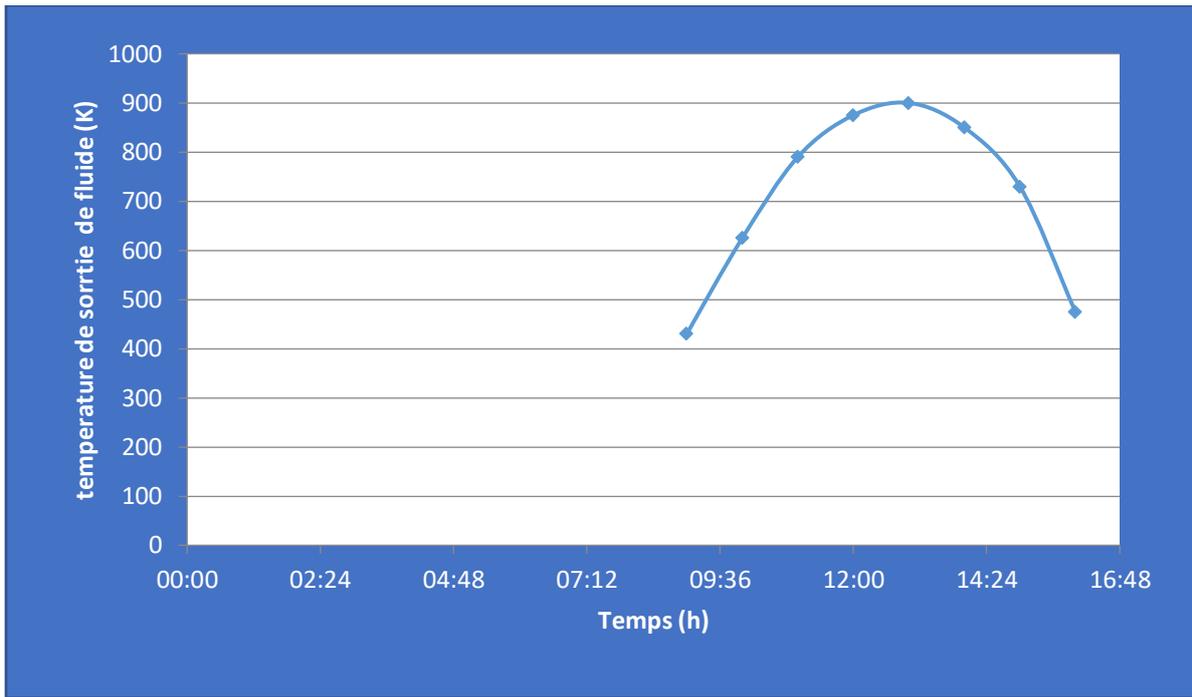


Fig IV.4 Variation du gisement solaire en fonction de temps après les travaux réalisés par Chabane et al. [23]

Et après Les résultats de la variation de température de sortie en fonction du temps dans cette figure

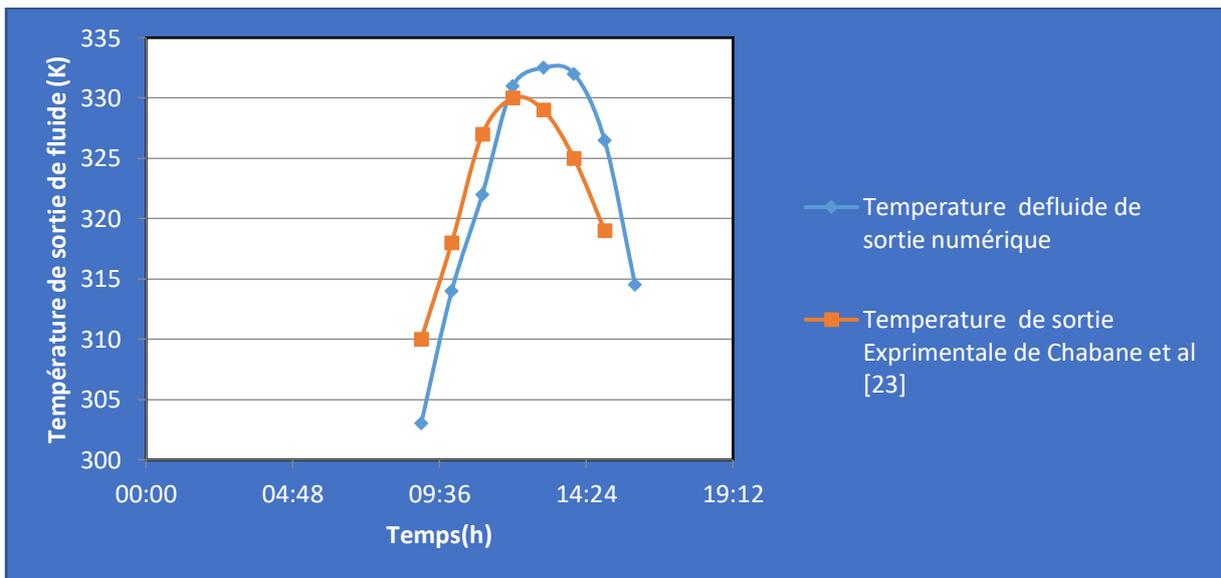


Fig IV.5 Evolution de la température de l'air de sortie en fonction du temps pour un débit de 0.012Kg/s.

On peut constater qu'un bon accord entre les deux résultats numériques et expérimentaux avec une légère supériorité de température de sortie du fluide expérimentale après midi. Cela est peut être dû au comportement thermique transitoire de l'insolateur (Inertie thermique).

IV. 4. Etude paramétrique

Dans cette partie nous avons présenté les influences des différents paramètres géométriques et des débits massiques sur le transfert de chaleur et le comportement du fluide dans différents panneaux .

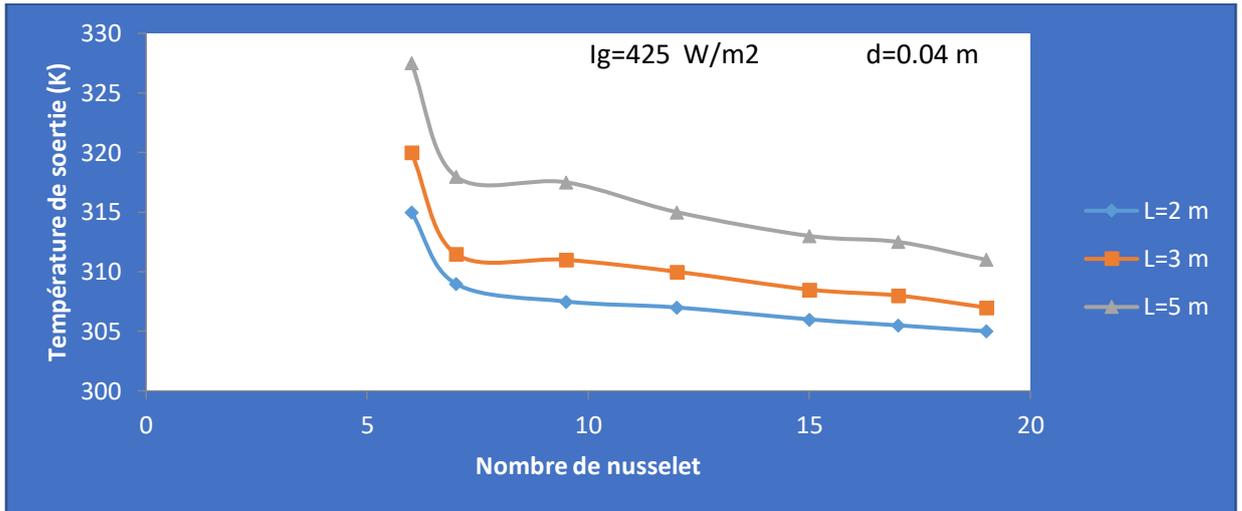


Fig IV.6. Variation de la température de sortie du fluide en fonction du nombre de Nusselt pour des di érentes longueurs de l'insolateur.

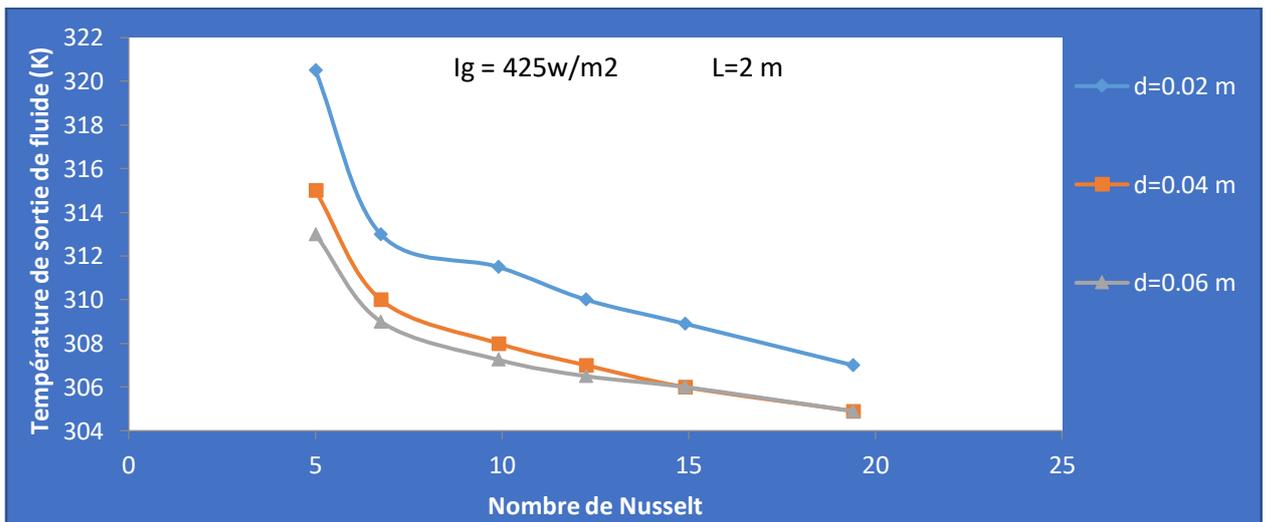


Fig IV.7 Variation de la température de sortie du fluide en fonction du nombre de Nusselt pour des différentes hauteurs du canal de l'insolateur.

Les figures 6 et 7 illustrent la variation de la température de sortie du fluide en fonction du nombre de Nusselt pour des différentes longueurs et hauteurs du canal de l'insolateur.

On observe que, malgré l'amélioration d'échange thermique, la température de sortie décroît avec l'augmentation du nombre de Nusselt car la quantité d'air à chauffer à surmonter la quantité de chaleur

existante ceci peut être expliqué par le fait que le rapport du coefficient d'échange sur le débit décroît en fonction de nombre de Nusselt.

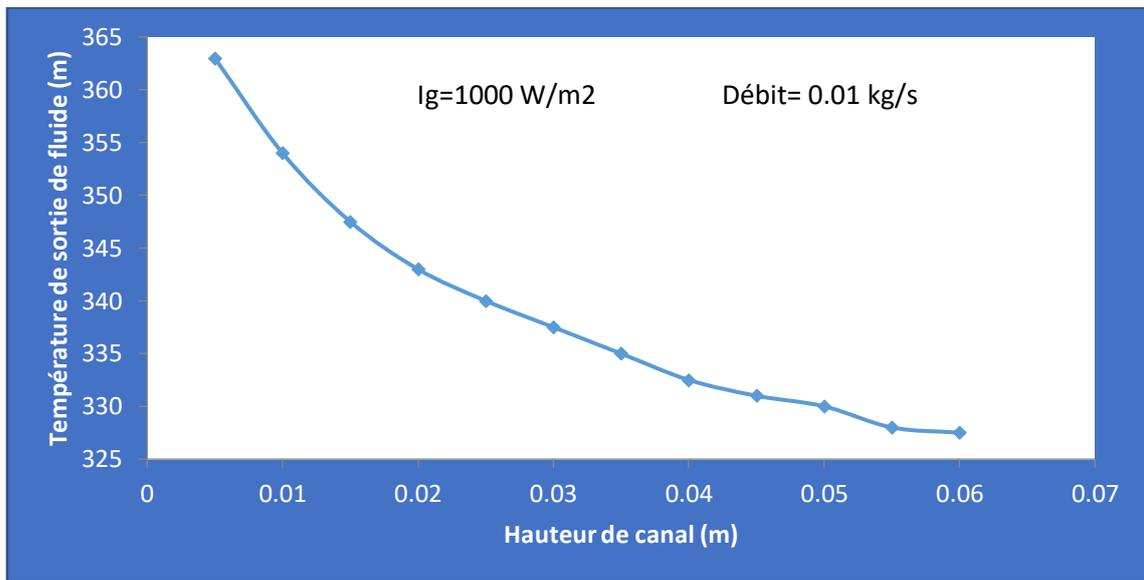


Fig. IV.8 Variation de la température de sortie en fonction de la hauteur du canal.

La courbe représentée sur la figure 8 montre la loi de variation de la température de sortie en fonction de la hauteur du canal. Il est à noter que l'accroissement progressif de la hauteur du canal, engendre une chute de température de sortie pour un débit de 0,01kg/s.

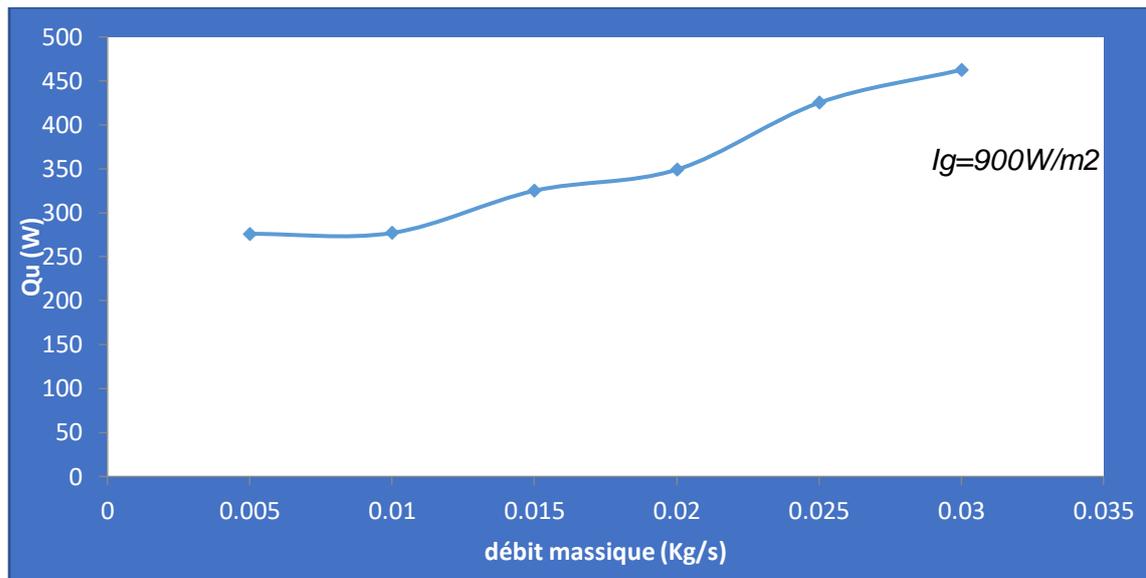


Fig IV.9 Evolution de l'énergie utile en onction du débit massique.

La figure 9 : montre l'évolution de l'énergie utile récupérée par l'air pour un panneau solaire plan à air sans chicane en onction du débit massique, on constate que l'énergie utile augmente proportionnellement avec le débit massique pour une valeur de l'intensité du rayonnement est égale 900W/m².

IV. 5. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté et validé les résultats des modèles mathématiques développés à partir de l'analyse des bilans énergétiques des différents panneaux solaires à air simple,

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de ce travail, nous avons présenté et étudié un nouveau système de rafraîchissement et de ventilation naturelle des bâtiments par une tour du vent couplée avec un échangeur géothermique et une cheminée solaire. Le présent travail constitue une contribution à l'étude des phénomènes de transfert thermique des systèmes des collecteurs solaires à air (cheminée solaire).

En premier lieu. Nous avons fait une présentation succincte d'une généralité sur les capteurs solaires; après nous avons abordé une recherche bibliographique sur les capteurs solaires plans à air

En deuxième lieu. nous avons présenté les modèles mathématiques et numériques adoptés pour la simulation du transfert de chaleur dans un panneau solaire à air puis à la résolution numérique de ces modèles en utilisant la méthode de différences finies avec le schéma implicite, dont un code informatique a été développé sous MATLAB pour effectuer les calculs.

Notre apport principal dans ce travail, est la mise au point d'un code de calcul numérique du fonctionnement dynamique de la chaîne énergétique que constitue le capteur solaire à air. Ce code a été fondé sur un ensemble d'équations issues d'un modèle physique détaillé, dans lequel interviennent certaines caractéristiques thermo-physiques propres aux éléments du capteur solaire plan à air, et utilisant la méthode « par tranche ».

Liste des Références

Liste des Références

- [1]. SANDALI, M., *Etude dynamique et thermique d'un capteur solaire à air à double passe avec milieu poreux*. 2014.
- [2]. Benkhelifa, A.J.R.d.E.R., *Optimisation d'un capteur solaire plan*. 1998: p. 13-18.
- [3]. Ahmed-Zaïd, A., et al., *Amélioration des performances des capteurs solaires plans a air: application au sechage de l'oignon jaune et du hareng*. 2001. 4: p. 69-78.
- [4]. Moummi, N., et al., *Energy analysis of a solar air collector with rows of fins*. 2004. 29(13): p. 2053-2064.
- [5]. MANAA, S., *Analyse structurelle et conceptuelle des facteurs d'optimisation des performances des insolateurs plans munis d'ailettes pour des applications diverses en fonction des contextes géographiques et climatiques*. 2017, Université Mohamed Khider-Biskra.
- [6]. BAISSI, M.T., *Etude théorique et expérimentale des paramètres de fonctionnement d'un capteur solaire plan*. 2012, Université Mohamed Khider-Biskra.
- [7]. Aoues, K., et al., *Etude de l'influence des rugosités artificielles sur les performances thermiques des capteurs solaires plans à air*. 2008. 11(2): p. 219-227.
- [8]. BOUMESLI, H., et al., *L'EFFET DE L'ANGLE D'INCLINAISON DU CAPTEUR SUR LES PERFORMANCES THERMIQUES D'UN CAPTEUR SOLAIRE PLAN A AIR*.
- [9]. MAHFOUD, O., *Étude dynamique et thermique de l'écoulement de l'air dans un collecteur solaire dont le conduit utile est garni de rugosités artificielles*. 2015, Université Mohamed Khider-Biskra.
- [10]. Souad, S.J.U.M.D.C., *Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan*. 2010. 2(51): p. 3.
- [11]. أ. طه and فرجاني, *Développement d'un logiciel de simulation des performances thermiques des capteurs solaires plans*. 2013, Université Mohamed Khider-Biskra.
- [12]. LABED, A., *Contribution à l'étude des échanges convectifs en régime transitoire dans les Capteurs Solaires Plans à air; Application au Séchage des produits agro-alimentaires*. 2012, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA.

Liste des Références

- [13]. AKERMI, M., *Contribution à l'étude d'un capteur solaire thermodynamique thermosiphon à eau.*
- [14]. AMRAOUI, M.A., *Etude numérique d'un capteur solaire plan à air Influence de la forme de la rugosité.* 2012.
- [15]. Benamra, M.L., *Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment: Approche architecturale.* 2013, Université Mohamed Khider Biskra.
- [16]. K. Aoues, N. Moumami, M. Zellouf, A. Moumami, A. Labed, E. Achouri, A. Benchabane, « Amélioration des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air », Etude expérimentale dans la région de Biskra, *Revue des Energies Renouvelables*, vol 12, N°2, p 237-248, (2009).
- [17]. Nabil Belmabrouk , Modélisation et simulation du comportement thermique transitoire d'un capteur solaire plan à air , Université Mohamed Khider de Biskra (2019)
- [18]. Khama, Réda, Farida Aissani, and Rezak 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 24 - 25 Octobre 2016.*
- [19]. Faris AISSAOUI , Contribution à l'étude du transfert de chaleur d'un capteur solaire placé dans un climat aride : cas de la région de Biskra , Université Mohamed Khider de Biskra (2017)
- [20]. MAME MOR DIARRA NDIAYE, Optimisation des performances d'un capteur solaire à air et estimation des coefficients d'échange paroi-fluide , UNIVERSITÉ BOURGOGNE FRANCHE-COMTÉ (2018).
- [21]. TALAMALI Donia , MOUGARI Nour el islam, Simulation des performances d'un chauffe eau Solaire, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES (2016)
- [22]. G. C. K., Double-channel flow flat-plate solar air heater, Part II., Final Year Project, B.Eng., Engineering Faculty,, Univ. Malaya, 1986.
- [23]. F. Chabane, N. Moumami and S. Benramache, Experimental analysis on thermal performance of a solar air collector with longitudinal fins in a region of Biskra, Algeria, *Journal of Power Technologies*, vol. 93 1, pp. 52-58, 2013.